الدليل في الفيزياء

الجيوفيزياء البيئية

والفيزياء الحيوية

الدكتور

ياسين محمد عبد السلام الحلواني

دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دار الجديد للنشر والتوزيع

530.025

ا.ي

ياسين محمد عبد السلام الحلواني ، .

الدليل في الفيزياء: الجيوفيزياء والفيزياء الحيوية / ياسين محمد عبد السلام الحلواني .- ط1.- دسوق: دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع، دار الجديد للنشر والتوزيع

196 ص ؛ 17.5 × 24.5سم .

تدمك : 7- 623 – 308 – 977 – 978

1. الفيزياء – أدلة

أ - العنوان .

رقم الإيداع : 28015.

الناشر : دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دسوق - شارع الشركات- ميدان المحطة – بجوار البنك الأهلي المركز

E- elelm_aleman2016@hotmail.com & elelm_aleman@yahoo.com

mail:

الناشر : دار الجديد للنشر والتوزيع

تجزءة عزوز عبد الله رقم 71 زرالدة الجزائر

E-mail: dar_eldjadid@hotmail.com

2018

الفصل الأول
الجيوفيزياء البيئية
Environmental Geophysics

الجيوفيزياء والمسح الجيولوجي

تشمل تقنيات التنقيب المسح الجيولوجي الطبقي Stratigraphic Survey، الذي تستخدم فيه أدوات الاستشعار عن بعد، كالصور الجوية الرادارية والتصوير بالأقمار الصناعية، إلى جانب الدراسات الميدانية بهدف تحديد العناصر الجيولوجية الرئيسية في مناطق معينة، وأنواع صخورها، وامتدادها السطحي وتراكيبها المتنوعة، ورسم خرائط جيولوجية لها، وتقدير احتمالات تكون البترول في طبقات رسوبية معينة، وترتيبها وأعماقها وسمك الطبقات الخازنة المحتملة، وبعض خصائص المصائد البترولية. ثم تأتي بعد ذلك مرحلة المسح الجيوفيزيائي باستخدام الطرق السيزمية والجاذبية والمغناطيسية والمقاومة الكهربية، والاستقطاب المستحث، والجهد الذاتي والإشعاع الإلكترومغناطيسي لتحديد أهم الخواص الطبيعية للصخور، مثل الكثافة والمسامية والمرونة والسعة الكهربية والصفات المغناطيسية.

المسح الجيولوجي الطبقي

في أوائل القرن العشرين كانت مناطق التنقيب عن البترول هي التي تظهر فيها شواهد بترولية مثل البقع البتيومينية، وتسربات الغازات، وبعض الصخور الأسفلتية التي تكشفها عوامل التعرية. ثم بدأ الاعتماد على أجهزة قياس المغناطيسية الأرضية لتحديد الاختلافات الصغيرة أو الطفيفة في المجالات المغناطيسية للتراكيب الصخرية، حتى يمكن الاستدلال على بنية الطبقات ومعرفة نوعيات التراكيب الجيولوجية للصخور الرسوبية، وإنشاء خطوط تساوى الأعماق تحت السطحية، وتحديد مناطق الطيات الصخرية المحدبة والمقعرة، وسمك بعض الطبقات الرسوبية فيها. وبتطور تكنولوجيات التنقيب عن البترول يجري حاليا قياس المغناطيسية الأرضية عن طريق المسح الجوي، الذي يتيح تغطية مساحات كبيرة، والوصول إلى مناطق صعبة طبوغرافيا، والتي لا يسهل استخدام طرق النقل الأخرى فيها.

الجيوفيزياء (Geophysics):

يختص علم الجيوفيزياء بدراسة الخصائص الفيزيائية للطبقات الأرضية، ويهدف إلى تحديد المصائد والتراكيب بإجراء قياسات على السطح مباشرة أو بالقرب منه ويعتمد في ذلك على استخدام قوانين وخواص فيزيائية طبيعية مثل

الجاذبية الأرضية و المغناطيسية الأرضية والإشعاع الطبيعي و التيارات الكهربائية الطبيعية التى تتولد فى الصخور نتيجة حركة السوائل فى مسامات الصخور المختلفة و كذلك التيارات المتولدة نتيجة للشحنات المنتشرة فى الفضاء، كما تشمل الطرق الجيوفيزيائية تسجيل الموجات الزلزالية الاهتزازية الناتجة عن الزلازل الطبيعية او الناتجة بفعل العوامل الاصطناعية مثل استخدام المتفجرات أو أجهزة توليد الاهتزازات الأرضية المختلفة.كما تشمل الطرق الجيوفيزيائية استخدام التقنية الرادارية و كذلك طرق تسجيلات الآبار.

يعتبر علم الجيوفيزياء - بطرقه المختلفة - من أهم علوم الأرض والتي تساعد في تحديد مكامن النفط والغاز والطبقات الحاملة للماء، وتحديد العروق المعدنية والخامات الاقتصادية، ودراسة التراكيب الجيولوجية المختلفة وفي مجال الدراسات الهندسية والدراسات البيئية. وقد ساهم التقدم الكبير الحاصل في طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية وتقنيات برامج التحليل في حل الكثير من المشاكل التي تواجه القطاعات المهتمة بالثروات الطبيعية سواء على مستوى القطاعات الحكومية أو القطاعات الخاصة أو حتى على مستوى الأفراد.

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العمليةلاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية، وللحصول عليها في المناطق صعبة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين. وقد أوجدت الحاسبات الآلية قدرات أفضل فيمعالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثرواتالبترولية والمعدنية .

ما هي الجيوفيزياء التطبيقية:

وتعني استخدام الطرق الجيوفيزيائية في تحديد هدف معين تحت سطح الأرض، مثل المياه الجوفية، والمعادن الاقتصادية، والأجسام المدفونة بأنواعها، والبترول والغاز ومعرفة التركيب الجيولوجي للطبقات التحت سطحية، وما تحتويه من كهوف أو صدوع أوفراغات و في مجال التطبيقات الهندسية.

وهذه الطرق تنقسم إلى الطرق الجاذبية والمغناطيسية والكهربية والكهرومغناطيسية والسيزمية والرادارية.

المسح الجيوفيزيائي:

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية،وللحصول عليها في المناطق صعبة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين. وقد أوجدت الحاسبات الآلية قدرات أفضل فيمعالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثرواتالبترولية والمعدنية .

ويختص علم الجيوفيزياء بدراسة الخصائص الفيزيائية للطبقات الأرضية، ويهدف إلى تحديد المصائد والتراكيب بإجراء قياسات على السطح مباشرة أو بالقرب منه، وهناك عدة طرق جيوفيزيائية مستخدمة للتنقيب عن النفط :

أ- المسح الثقلي : ويستخدم في المراحل الأولى للاستكشاف، ويمكن بواسطته تكوين فكرة عن شكل وامتداد الحوض الرسوبي والاتجاهات البنيوية ومواقع الفوالق، وبناء على نتائجه يتم تحديد المناطق الأكثر أملاً، وتعتمد هذه الطريقة على قياس الجاذبية الأرضية التي تختلف من مكان لآخر تبعاً لكثافة الصخور والتركيب الجيولوجي للمنطقة.

ب-المسح المغناطيسي : ويعتمد على قياس مغناطيسية الأرض التي تعتمد على التغيرات المغناطيسية في مكونات القشرة الأرضية .

ج-المسح السيزمي (الاهتزازي) بنوعيه (الانكساري والانعكاسي): والذي يشكل 90% من الأعمال الجيوفيزيائية التي تنفذ بهدف التنقيب عن النفط، ويمر هذا العمل بعدة مراحل هي :

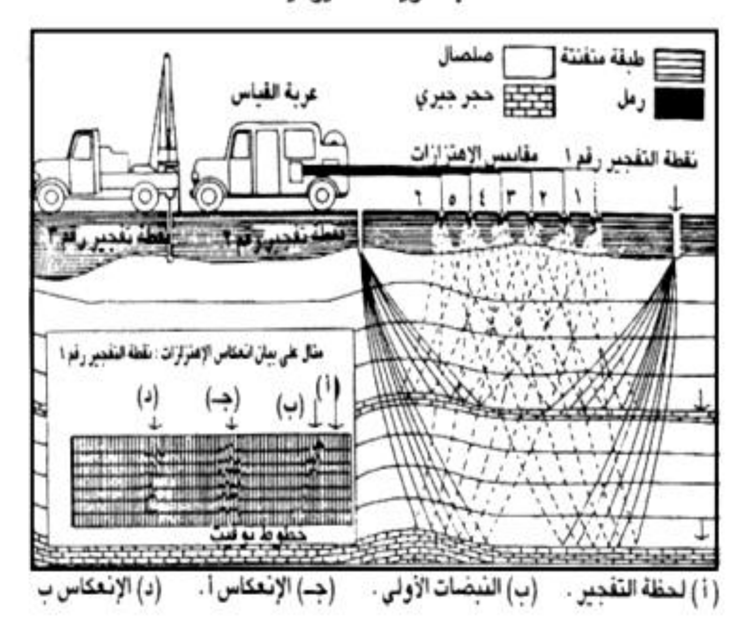
العمل الحقلي.

معالجة المعلومات .

تفسير المعطيات حيث يتم هنا تحويل المعلومات السيزمية الى معلومات جيولوجية، فيتم إنشاء خرائط زمنية لمنطقة المسح يتم تحويلها الى خرائط أعماق بعد إجراء قياسات للسرعة.

الشكل الرقم ١١

المسح الجيوفيزيائي
بالطريقة السيزمية



(أ) لحظة التفجير. (ب) النبضات الأولي. (جـ) الإنعكاس أ. (د) الإنعكاس ب

ثم الطرق الأقل استخداما وهي قياس الإشعاع والحرارةعند أو بالقرب من سطح الأرض أو في الجو. وإذا كانت الطرق السيزمية والجاذبية هي، أساسا، أدوات للبحث عن البترول، فإن الطرق الكهربية تستخدم، عادة، للكشف عن المعادن، وغير أن الروس والفرنسيين يستخدمون الطرق الكهربية والمغناطيسية معاً في البحث عن البترول والمعادن .

أجهزة الاستكشاف الجيوفيزيائي:

المسح الجيوفيزيائي أحد أهم الطرق المستخدمة في الاستكشاف الجيولوجي والتنقيب عن الخامات المعدنية اعتماداً على الخصائص الفيزيائية للخامات أو الصخور الحاوية لها مثل قابليته اللتمغنط ، والتوصيل الكهربائي، والكثافة ، والإشعاع الطبيعي ، ودرجة الصلابة لتحديد مواقع تواجد الخامات، والتراكيب الجيولوجية ، وتكوين الطبقات تحت السطح لتحديد مكامن ترسب الثروات الطبيعية. وتسهم الدراسات الجيوفيزيائية في حل المشاكل الجيوتقنية، والهندسية ، وغيرها من المشاكل البيئية. ويمتلك المركز العديد من الأجهزة المختلفة التي تستعمل في إجراء الأنواع المختلفة من المسوحات الجيوفيزيائية منها على سبيل المثال :

أجهزة قياس إجمالي الكثافة المغناطيسية والمركبة العمودية والمركبة الأفقية وقابلية التمغنط

أجهزة قياس شدة الإشعاع الطبيعي الوميضي والطبقي وانبعاث إشعاع غاز الرادون.

أجهزة المسح الكهرومغناطيسي باستخدام التردد المنخفض جداً (VLF) والتورام(Turam).

جهاز قياس الموجات الزلزاليةالانكسارية

جهاز قياس الجسات (السرود)

ويتطلب التنقيب عن البترول استثمارات مادية كبيرة، وخبرات تكنولوجية متطورة، وتمويلا مستمرا لخطط الاستكشاف، وتكامل عناصر تعدين البترول وصناعته، ونقله وتسويقه. وهدف التنقيب الواضح هو البحث عن مكامن تجمع البترول باستخدام مختلف أنواع المسح، والكشف جوياً وأرضياً وجوفياً، ويعتبر الرشح البترولي مؤشراً إيجابياً لتحديد أغلب مناطق التنقيب، إلى جانب البحث عن البـترول في مصائد بنائية معينة كالطيات المحدبة والقباب.

وباستكمال الدراسات الكيميائية للصخور، يمكن معرفة مدى احتوائها على المواد العضوية المولدة للبترول، وكذا تعرف مؤشرات وجود خزانات بترولية كبرى، مثل وجود صخور مسامية ترتفع بها نسبة الكربونات، وتتحلل موادها بسرعة تحت تأثير عوامل التجوية الكيميائية من رطوبة وجفاف وتجوية عضوية بصفة خاصة.

الجيولوجيا ـ إذاً ـ من خلال مشاهدات الصخور والآبار، والجيوفيزياء بطرقها العديدة تقدم اليوم وسائل عملية لدراسة تكوين باطن الأرض وتركيبه، ومع ذلك لا تستطيع جميع الدراسات الجيولوجية الجيوفيزيائية والجيوكيميائية أن تحدد بدقة مواقع تجمعات البترول والغاز مهما كانت شمولية تلك الدراسات،

إذ لابد من الحفر، فهو العامل الحاسم في استكشاف البترول، ويرتبط النجاح فيه بالتحديد الدقيق لمواقع الآبار، وتقدير العمق المحتمل وجود البترول به في الطبقة أو الطبقات، وكفاءة برمجة الحفر ونظم معلوماته، للتعرف على الطبقات تحت السطحية في أثنائه وتقدير السمك والعمق لكل منهما.

المسح الجيولوجي الطبقي :

ويشمل المسح الجيولوجي الطبقي الأولى استخدام مقياس الجاذبية الأرضية Gravimeterلتعرف مواقع الصخور وكثافاتها، واستنتاج بعض المعلومات عن التراكيب الجيولوجية للمكامن والمصائد البترولية .

المسح الجيوفيزيائي:

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية، وللحصول عليها في المناطق صعبة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين. وقد أوجدت الحاسبات الآلية قدرات أفضل في معالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثروات البترولية والمعدنية .

وتشمل الطرق الجيوفيزيائية الشائعة الاستخدام المسح السيزمي الذي يسمى أحيانا بالزلزالي، والجاذبية، والمغناطيسية، والطرق الكهربية، ثم الطرق الأقل استخداما وهي قياس الإشعاع والحرارة عند أو بالقرب من سطح الأرض أو في الجو. وإذا كانت الطرق السيزمية والجاذبية هي،أساسا، أدوات للبحث عن البترول، فإن الطرق الكهربية تستخدم، عادة، للكشف عن المعادن، وغير أن الروس والفرنسيين يستخدمون الطرق الكهربية والمغناطيسية معاً فيالبحث عن البترول والمعادن .

المسح السيزمي:

أداة عملية لتحديدالتكوين الجيولوجي تحت سطح الأرض، ويعتمد على تفجير شحنة صغيرة من المتفجرات قريبةمن السطح، تنتج عنها صدمة آلية أو هزة أو موجة سيزمية، من نوع ريلي **Rayleigh** أو لف **Love** ، وهذه الموجة تعود إلى السطح بعد انعكاسها من الأوجه الفاصلة بين الطبقات ذات الخواص الطبيعية المختلفة، وتسجل الانعكاسات بأجهزة حساسة سريعة الاستجابة لحركة الأرض **Geophones & Detectors**، توضع على أبعاد محددة من نقطة التفجير لتلقي الموجات الصوتية المنعكسة وقياس زمن ارتداد الموجة السيزمية

. ومن المعروف أن سرعة الموجات الصوتية تعتمد على كثافة الصخور التيتمر بها. ويمكن حساب أعماق الطبقات وسمكها واستنتاج أنواعها بقياس أزمنة الانعكاسومقارنتها، وتعرف الظواهر التركيبية في الطبقات السفلى، وبيئة الترسيب، ومن ثمإنتاج خرائط تركيبية لأي مستوى جيولوجي يعطي انعكاسات للموجات الصوتية، وتحديدأماكن الطيات المحدبة والفوالق والقباب الملحية والشعب وخواصها .

ويجري المسح السيزمي أيضاً في البحار،باستبدال المتفجرات بشرارة كهربية ذات فولت عال، قد يصل إلى عشرة آلاف فولت، تفرغتحت الماء لإحداث نبض سمعيAcoustic Pulseعلى فترات قصيرة متتابعة لإجراء المسح السيزمي على أعماق بين 100، 400 متر .ويمكن إجراء هذا المسح على أعماق كبيرة قد تصل إلى 2- 2.5كم باستخدام قاذف صغيرلخليط متفجر من غازي البروبان والأكسجين يشعل بشرارة كهربية. وطريقة الانعكاسالسيزمي أنجح الطرق السيزمية المستخدمة في معرفة الطبقات القريبة من سطح الأرض،وتحديد الظواهر التركيبية التي يشتمل أنها مكامن بترولية، وبخاصة الطيات المحدبةوالفوالق والقباب الملحية وبعض البنيات الاختراقية الأخرى .

أما طريقة الانكسار السيزمي فتتيح تسجيلالإشارات السيزمية على مسافات كبيرة من نقطة التفجير، والحصول على معلومات عنالسرعات والأعماق الخاصة بالطبقات تحت السطحية التي تنتقل خلالها. واستخدمت في الماضي في تحديد جوانب قباب الملح قبيل استخدام الطريقة الانعكاسية. ومع أن طريقة الانكسار لا تعطي معلومات دقيقة عن التراكيب الصخرية، وهي أقل استخداما في استكشاف البترول حاليا، إلا أنها مصدر جيد للمعلومات عن سرعة انتشار الموجات في طبقات الانكسار، وبالتالي التحديد التقريبي لمواقع وأعماق طبقات صخرية أو تكوينات جيولوجية معينة. ومن المعروف أن سرعة انتشار الموجات السيزمية تبلغ نحو 5500قدم/ثانية في الرواسب الفتاتية، وترتفع إلى أكثر من 23000 قدم/ ثانية في بعض الصخورالنارية، وبذلك يسهل تحديد عمق الحوض الرسوبي وشكله برسم خريطة صخور القاعدة التيتتراكم عليها الصخور الرسوبية .

التنقيب الزلزالي:

يعتبر المسح السيزمي من أهم تطبيقات علم الجيوفيزياء، لأنه يعطي صورة واضحة عن الطبقات الجيولوجية الواقعة تحت سطح الأرض وعن امتدادها واستمراريتها ووجود أية انحرافات أو انقطاعات فيها وذلك بهدف اختيار التركيب الأكثر ملاءمة واحتمالاً لتجمع المواد الهيدروكربونية. ويتم المسح الزلزالي باستخدام مصدر للطاقة لإرسال موجات صوتية إلى باطن الأرض وتعكس هذه الطبقات الجوفية تلك الموجات إلى السطح حيث يتم التقاطها بصورة إشارات كهربائية يجري تضخيمها ونقلها إلى مسجلات رقمية، وبعدها تحفظ هذه البيانات على أشرطة مسح زلزالي بواسطة الكومبيوتر للحصول على مقطع زلزالي وبواسطة أساليب معالجة متقدمة في التقنية، يمكن بواسطتها الحصول على تصوير مجسم ذي بعدين اثنين أو ذي ثلاثة أبعاد لملامح الطبقة الجوفية من أجل استخدامه في تحديد ملامح التشكيلات والطبقات وخصائص الصخور التي تهم الجيولوجيين العاملين في قطاع النفط.

طريقة الجاذبية:

تعتمد طريقة البحث بالجاذبية - في حدودالأميال الأولى القليلة من سطح الأرض - على قياس التغييرات الصغيرة في جذب الصخورللأجسام والكتل فوق سطحها، إذ تختلف قوى الجذب من مكان لآخر طبقا لاختلاف كثافات الصخور تحت سطح الأرض، لأن الجاذبية تتناسب طرديا مع الكتل الجاذبة، وعكسيا مع مربع المسافة إليها. وإذا كانت الطبقات الأعلى كثافة مقوسة إلى أعلى في تركيب مرتفع مثل الطية المحدبة فإن مجال الجاذبية الأرضية يكون فوق محور الطية أكبر منه على طول أجنابها، كما أن القبة الملحية، الأقل كثافة من الصخور التي اخترقتها، يمكن كشفها من القيمة الصغيرة للجاذبية المقاسة فوقها بالمقارنة بقيمة الجاذبية على أي من الجانبين. ولا بد لقياس التغير الطفيف في قيمة الجاذبية من مكان لآخر من أجهزة ذات حساسية عالية، لدرجة أنها تسجل التغيرات في الجاذبية لجزء في المليون من عجلة الجاذبية الأرضية،وتسمى الجرافيمترات Gravimeters، وهي أداة رسم خريطة تغيرات الجاذبية في منطقة البحث عن البترول التي يمكن من خلالها ترجيح وجود تراكيب جيولوجية معينة مثل الفوالق والطيات، أو تداخل صخور القاعدة ذات الكثافة العالية في صخور رسوبية ذات كثافة أقل .

وبصفة عامة يستفاد من طريقة الجاذبية في تحديد الأحواض الرسوبية، وامتدادها وسمكها، باعتبار أن كثافة صخور القاعدة أعلى من كثافة الطبقات المترسبة فوقها، وكذا في تحديد أماكن القباب الملحية، وشعاب الحجرالجيري Limestone Reefs ، والطيات المحدبة ، ثم في تعيين الحدود الفاصلة بين الكتل الصخرية ذات الكثافات المختلفة. ومع ذلك يجب أن نسلم بأن الصخور الخازنة ليست متجانسة في خواصها مما يقتضي استخدام طرق أخرى للمسح الجيوفيزيائي لتكوين صورة متكاملة ودقيقة للخزان البترولي، تستكمل بالمسح السيزمي والحفر الاستكشافي. وقد استخدمت طريقة الجاذبية فيتحديد أماكن القباب الملحية في ساحل خليج المكسيك بالولايات المتحدة، وفي الكشف عن التراكيب المحدبة في وسط القارة الأمريكية التي تعد مكامن محتملة للسوائل الهيدروكربونية .

الطريقة المغناطيسية:

يستخدم المسح المغناطيسي لقياس التغير فيشدة المجال المغناطيسي للأرض من مكان لآخر،بسبب اختلاف التراكيب الجيولوجية، والتغيرات الطبوغرافية لأسطح صخور القاعدة، والتأثيرية المغناطيسيةMagnetic Susceptibility

لهذه الصخور، أو الصخورالنارية أو المتحولة التي تحتوي في العادة على نسب أعلى من معدن المجنتيت Magnetite ذي الخواص المغناطيسية، أوالصخور القريبة من سطح الأرض. وتستخدم المغناطومترات Magnetometers في المسح المغناطيسي على الأرض، ومن الطائرة أو السفن وبخاصة لتحديد سمك الطبقات الرسوبية الخازنة للبترول، أو المعادن المغناطيسية .

وحديثاً تستخدم الأقمار الصناعية في رسم الخرائط الكنتورية للتغيرات في شدة المجال المغناطيسي لتحديد التراكيب الجيولوجية في مناطق المسح المغناطيسي، وبخاصة أماكن الطيات والصدوع في القشرة الأرضية المرجح وجود تجمعات البترول بها، وحساب أعماق صخور القاعدة بما يساعد في تقدير سمك وامتداد الطبقات الرسوبية وامتدادها، وكذا تعرف تداخلات الصخور النارية بين هذه الطبقات الرسوبية. وقد ساعدت الطريقة المغناطيسية على اكتشاف حقول بترولية عديدة في المملكة العربية السعودية، ومنها حقول الحوطة والدلم عام 1989م، والرغيب والنعيم والحلوة والهزمية والغينة في المنطقة الوسطى عام 1990م، ثم حقل مدين على الساحل الشمالي للبحر الأحمر عام 1993م .

الطريقة الكهربية:

تعتمد هذه الطريقة على اختلاف قياسات المقاومة النوعية الكهربية بين شتى أنواع الصخور، وبخاصة بين الملح والرسوبيات،ويسهل باستخدامها تحديد عمق صخور القاعدة بفضل ارتفاع قيم المقاومة النوعية لها .وإذا كانت التباينات في الخواص الكهربية للصخور الرسوبية محدودة، فإن الصخورالجيرية الكتلية والأنهيدريت تتميز بمقاوماتها النوعية العالية. كذلك تستخدم طريقة الجهد الذاتي لإجراء قياسات على السطح بالميللي فولت للجهود الكهروكيميائية الناشئة في الأرض بالتفاعل الكيميائي الكهربي بين بعض المعادن والمحاليل ذات الخصائص الكهربية المتلامسة معها .

الحفر الاستكشافي Exploratory Drilling :

يلي المسح الجيوفيزيائي والدراسات الجيوكيميائية التي تقود إلى تحديد أنسب الأماكن التي يرجحأن تكون حقولا منتجة، ويبدأ بحفر أولي الآبار الاستطلاعية التي تسمى بئر القطةالبرية Wild Cat Well، طبقا لتقدير علمي دقيق لموقع الحفر والأعماق المطلوب الوصول إليها، وأنواع الأجهزة التي تستخدم في تجويف البئر، ثم تسجل النتائج في وثيقة التسجيل البئريWell Logging، والتي تشمل تحديد أنواع وسمك الطبقات وسمكها، وتقديرأعمار الصخور طبقا للحفريات الموجودة في كل طبقة إلى جانب قياسات المقاومة الكهربية والنشاط الإشعاعي

وانتشار الموجات الصوتية، والكثافة، وتستكمل بالصفات الطبيعية مثل المسامية والنفاذية، والخصائص الكيميائية. وتتم متابعة تحليل العينات الجوفية أولا بأول خلال حفر البئر الاستكشافي بهدف معرفة وتحديد تتابع الطبقات للصخور الرسوبية في الحقول البترولية المنتظرة .

وعادة تحفر البئر الاستكشافية الأولى على قمة التركيب الجيولوجي المراد استكشافه، أو على الموقع المقدر نظريا أن يحقق أكبرإنتاج ممكن. ويراعى ما أمكن ذلك أن يكون تجويف البئر رأسيا، واختبار زاوية ميله كلما تعمق الحفر لإجراء التصحيحات المطلوبة عند الضرورة. ومع أن حفر البئر الأولي يعطي الدليل على وجود البترول، وتركيب المكمن البترولي، وأعماق الطبقات الحاوية للزيت من سطح الأرض وخواصها، إلا أن تحديد الحقل البترولي، وحساب كميات البترول المنتظر إنتاجها، وتقدير الاحتياطي المرجح من البترول في الحقل يتطلب حفر آباراستكشافية أخرى حول البئر الأولي. ويجري في حالات عديدة حفر "الآبار القاعية "العميقة في الأماكن الملائمة لتجمع الزيت أو الغاز، لدراسة التركيب الجيولوجيوالظروف الهيدرولوجية لتكوين الطبقات الرسوبية، وكذا "الآبار البارامترية" لتدقيق المعلومات عن التراكيب الجيولوجية للصخور في منطقة البحوث الاستكشافية .

طريقة تسجيل الآبار Well Logging :

هي طريقة واسعة الاستخدام قبل حفر آبار البترول وفي أثناء الحفر وبعه، لتحديد الخواص الفيزيائية المختلفة للطبقات تحت سطح الأرض، من خلال إنزال أجهزة قياس متنوعة في الآبار لتحديد المقاومة النوعية الكهربية، والجهد الذاتي والتأثيرية، والسرعة الصوتية، والكثافة، والخواص المغناطيسية، وإطلاق أشعة وفوتونات جاما الطبيعية، أو توليد أشعة جاما استجابة لقذف النيوترونات .

والتسجيلات الكهربية تتيح قياس المقاومة النوعية للصخور، ورسم الحدود بين الطبقات، وتحديد مناطق تدفق السوائل ودراسة المياه الجوفية وتحديد ملوحتها، وبذلك يسهل تعيين الطبقات المنفذة للسوائل والأسطح والحواف التي تحدها. والطرق الكهرومغناطيسية تكشف اختلاف الخواص التأثيرية للصخور تحت سطح الأرض .

وقد استخدمت طرق المقاومة النوعية والكهرومغناطيسية الأرضية في روسيا لإعداد خرائط الطبقات الرسوبية في مراحل الاستكشاف البترولي المبكرة، وفي فرنسا استخدمت الطرق الكهربية في البحث عن المعادن الصلبة، وتتبع الطاقة الحرارية الأرضية، أما تسجيل النشاط الإشعاعي الطبيعي للصخور فيجري باستخدام أجهزة كشف إشعاعي متنوعة على الأرض،

وفي الآبار، ومن خلال المسح الجوي الإشعاعي. كذلك يستخدم مصدر لإشعاع النيوترونات، مثل خليط من البريليوم والراديوم، ويستقبل الإشعاع المنطلق من الصخور، وقياس درجة امتصاص النيوترونات بواسطة أيونات الهيدروجين الموجودة في البترول أو الماء أوالغاز .

وتفيد دراسة النشاط الإشعاعي للصخور في تعرف التراكيب الصخرية، ومدى احتوائها على سوائل، وأنواع تلك السوائل، ووجود الغازات الطبيعية، ومسامية الصخور، كما تستخدم أشعة جاما في الكشف عن الطفلة الحجرية الزيتية Oil Shales. كذلك فإن المسح الإشعاعي من أفضل طرق تعيين وتقويم رواسب المعادن المشعة تحت سطح الأرض، سواء التي تحتوي على اليورانيوم أو الثوريوم .

وتجري تسجيلات الانتشار الصوتي لقياس سرعة سريان الموجات الصوتية في كل طبقة من الطبقات الصخرية على حدة، وتحديد الاختلاف بينها في المقاومة الصوتية Acoustic Impedance، ما يساعد في معرفة مسامية الصخور تحت السطحية .

س/ كيف يستطيع الجيولوجيون استكشاف باطن الأرض والتغلغل   في أعماقها..؟ وكيف يستطيعون التعرف على مكامن النفط والخامات المعدنية ..؟في هذا الموضع سنتعرف على أحد فروع علوم الأرض والذي يختص بطرق استكشاف باطن الأرض والاستكشاف الجيوفيزيائي..

في الواقع يوجد لدينا أربعة طرق جيوفيزيائية لاستكشاف باطن الأرض وهي ..

الطريقة السيزمية Seismic

الطريقةالكهربائية Resistivity

الطريقة التثاقلية Gravity

الطريقةالمغناطيسية. Magnetics

أولاً : الطريقة السيزمية :

وهي التي تعتمد على دراسة الموجات السيزميةوتنقسم إلى قسمين:

1-انكسارية: Refraction Seismology وهذه الطريقة تعتمد على دراسة زمن أولى الموجات وصولاًوربطها بالمسافات بين المستقبلات التي تستقبلها ، أما بقية البيانات فلا نحتاجإليها في الطريقة الانكسارية ، من هذه الطريقة أستطيع التعرف على التغير في الصخورمع العمق ، كما أستطيع معرفة سرعة الموجات خلال مرورها بالأوساط المختلفة حيث تعتمدعلى معاملات المرونة elastic parameters لهذه الأوساط.

2- انعكاسية: Reflection Seismology وهذه تعتمد على تحليل الطاقة التي تصل بعد الحركة الأرضيةالأولى وبصفة عامة فهذا التحليل يركز على دراسة الموجات المنعكسة ، يشبه الأمردراسة الموجات الصوتية المنعكسة في أجهزة السونار.

أيضاً هذه الطريقة تعطينا معلومات عن نفس الطبقة الصخرية التي تمر بها في حين ان الطريقة الانكسارية تعطينا معلومات عن الحدود الفاصلة بين الطبقات ومعاملات المرونة للطبقات .

وللطريقة السيزمية عيوب ومميزات مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى أيضاً نفس الطريقتين السيزميتين بهما مميزات وعيوب مقارنة مع بعضها البعض.

مميزات الطريقة السيزمية وعيوبها مقارنة بالطريق الجيوفيزيائية الأخرى.

من مميزات هذه الطريقة :

أنها تعطينا تصورعما هو موجود تحت سطح الأرض وبذلك نستطيع من خلالها تحديد العمود الطباقي للمنطقة

ولكونها تعتمد على انتشار الموجات في الصخور وحيث أن انتشار هذه الموجات يعتمد على معاملات المرونة للصخر فإننا نستطيع ومن حيث المبدأ تحديد هذه المعاملات .

وأيضا نستطيع الكشف عن الهيدوركربونات بواسطة هذه الطريقة.

ومن مساويء هذه الطريقة :

أنها مكلفة جداً مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى

يتطلب تحليل البيانات المستخلصة بهذه الطريقة وقتاً طويلاً بالإضافة إلى حاجة المحللين إلى أجهزة حاسوبية متطورة تكلف مبالغ طائلة

أيضاً الأجهزرالمستخدمة في تجميع البيانات مكلفة جداً وأغلى من الأجهزة المستخدمة في طريق الجوفيزيائية الأخرى

مقارنة سريعة بين الطريقتين السيزمية :الانعكاسية والانكسارية

من مميزات الطريقة الانكسارية:

أننا نحتاج لأقل عدد ممكن من المصادر والمستقبلات ولذلك فهي رخيصة نسبياً في جمع البيانات فيحين أن الطريقة الانعكاسية تحتاج لعدد أكبر من المصادر والمستقبلات لذلك فإن جمع البيانات بواسطة هذه الطرقة مكلف جداً .

وعند تحليل البيانات فإن تحليل البيانات الانكسارية أسهل من تحليل البيانات الانعكاسية حيث أننا نعتمد في تحليل البيانات الانكسارية على زمن وصول أول موجة في حين أن تحليل البيانات الانعكاسية يعتمد على الجزء المتبقي من الطاقة كما انها تحتاج إلى أجهزة حاسوبية متطورة وعدد كبير من الخبراء لذلك فهي تكلف الكثير (عالية التكلفة)

أما عن مساويء الطريقة الانكسارية

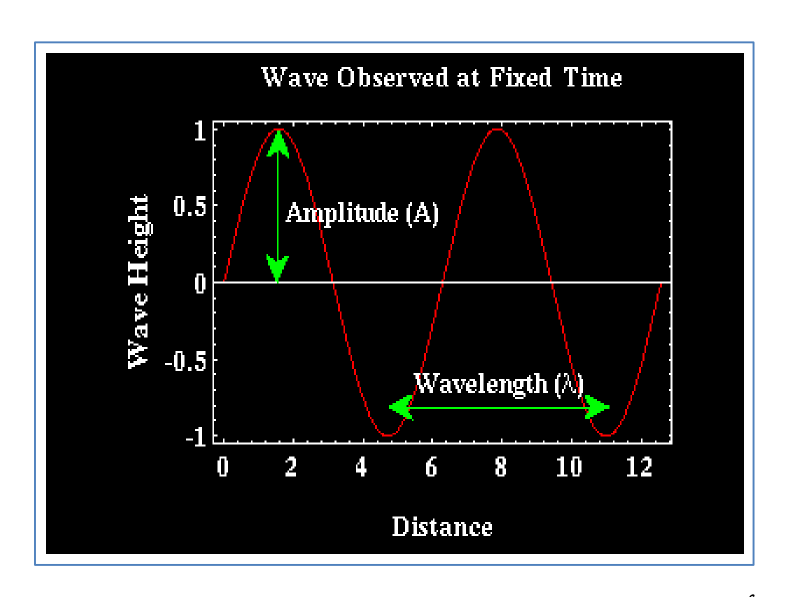
يجب أن تكون المسافة بين المصدر والمستقبلات كبيرة بعض الشيءحتى نتمكن من استقبال البيانات .. في حين أننا لانحتاج هذه المسافة عندما نجمع البيانات بواسطة الطريقة الانعكاسية .

أنها لا تعمل إلا إذا كانت السرعة تزداد مع العمق .. في حين أن الطريقة الانعكاسية تعمل في جميع الأحوال.

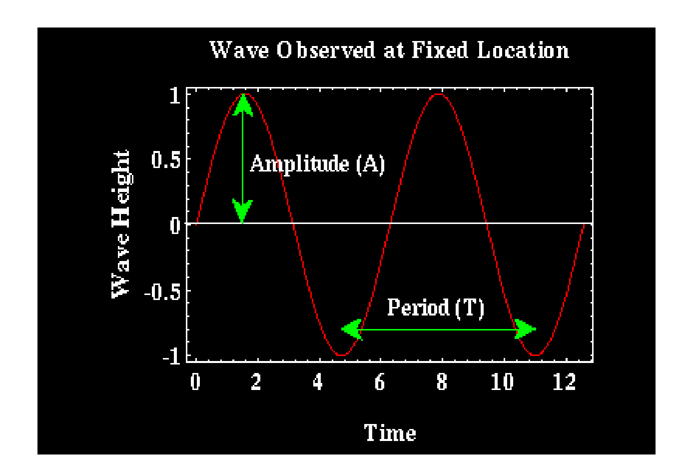
ونلاحظ أيضاً أن الطريقة الانكسارية تترجم لنا ماهية الطبقات الموجودة في الأسفل هذه الطبقات من الممكن أن تكون عميقة جداً وغيرمستوية .. في حين أن البيانات الانعكاسية يمكن أن تكون مترجمة بسهولة أكثر من ناحيةعلم الطبقات ..

ماذا يحدث لو قذفنا بحجر صغير في وسط بحيرة ..؟

ستبدأ الموجات بالانتشار على سطح البحيرة على شكل حلقات. لو أخذنا مقطع عرضي لهذه الحلقات وأوقفنا الزمن بالنسبة لها فأسمي المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين بالطول الموجي wavelength وتعرف المسافة بين خط انتشار الموجة وحتي قمة الموجة أو قاعها بسعة الموجة (لاحظ الشكل التالي)



أما لو قمنا بتثبيت الموقع بالنسبة لحركة الموجات على سطح البحيرة فستعبر المسافة بين القمتين المتتاليتين أو القاعين المتتاليين عنالزمن الدوري.



وهناك علاقة بين سرعة هذه الموجات وطولها الموجي والزمن الدوري لها حيث أن:

$C=\lambda\backslash T$ حيث أن

= C السرعة

= λ الطول الموجي

= T الزمن الدوري

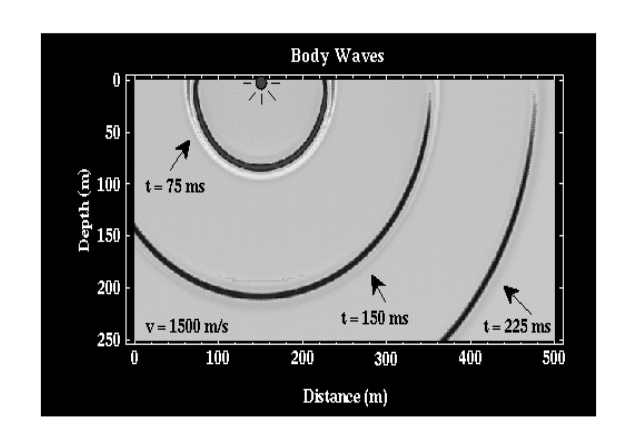
وأيضاً هناك علاقة بين التردد *f* والزمن الدوري T حيث أن التردد يساوي مقلوب الزمن الدوري و وحدته 1\ثانية أو هيرتز (Hertz (Hz

أنواع الموجات السيزمية :

تنقسم الموجات السيزمية إلى قسمين وهي :

الموجات الجسمية : Body Waves وهذه هي الموجات التي تسري في باطن الأرض .

نحن نعلم أن الموجات تنطلق بسرعة ثابتة مالم تتغيرمعاملات المرونة للوسط الذي تسري فيه كما أنها تنتشر في جميع الاتجاهات بعيداً عن المصدر .. من ذلك نستنتج أن الموجات السيزمية وعند أي لحظة تعطي شكلاً كروياً عند انتشارها في وسط متجانس homogeneous

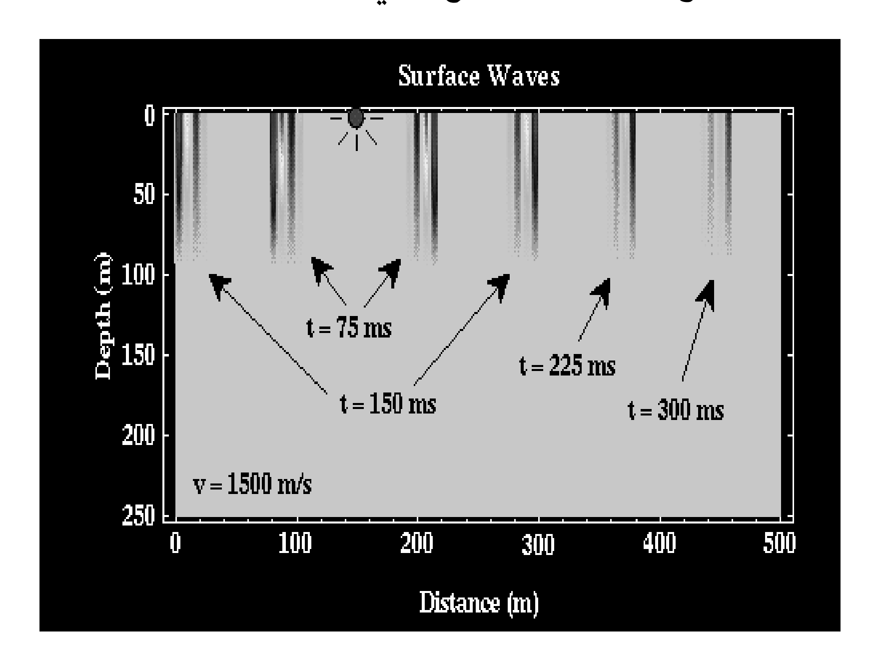


وتنقسم الـ Body waves إلى نوعين:

الموجات الأولية : primary waves وتعرف باسم P Waves وسميت بهذا الاسم لأنها لكونها الأسرعولذلك فهي أولى الموجات وصولاً ، ويعود سبب سرعتها إلى أنها تسلك سلوكاً بسيطاً حيث تتحرك فيها الجزيئات في نفس خط انتشار الموجة وتشبه هذه الموجات الموجات الصوتيةحيث أنها تنتشر في الهواء وفي الماء أيضاً

الموجات الثانوية : secondary waves وتعرف باسم SWaves وهي أبطأ من الموجات الأولية حيث تتحرك فيها الجزيئاتعمودياً على خط انتشار الموجة ولا تنتشر إلا في الأوساط الصلبة فقط .

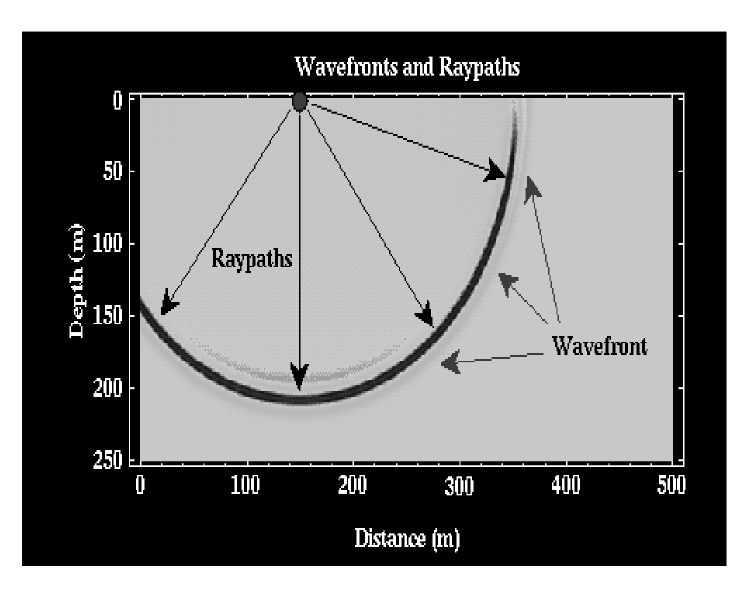
الموجات السطحية Surface waves: وهي الموجات التي تسري على سطح الأرض فقط .. ولو نلاحظ أن سعة الموجةamplitudes للموجات السطح يكون كبير جداً على السطح ويصغر كلما اتجهنا إلى العمق لذلك فإن هذه الموجات تضمحل أسياً مع العمق .. أيضاً تضمحل هذه الموجات كلما ابتعدنا عن المصدر .. وتعتبر هذه الموجات أقل سرعة من الموجات الثانوية ونستطيع التقليل من هذه الموجات بدفن المصادر في الأرض .. وتوضح الصورة التالية مقطع عرضي لانتشار الموجات السطحية



وكما هو الحال مع الموجات الجسمية فإننا نستطيع تصنيف الموجات السطحية إلى نوعين هما : موجات رالي Rayleigh waves وموجات لوف Love waves ويختلفان عن بعضهما في طريقة حركة الجزيئات... ولسنا هنا لتفصيل الاختلاف بينهماالمهم في الأمر أن هذه الموجات تعتبر مصدر تشويش وإزعاج على الاستكشاف السيزمي لذلكفهي غير مرغوب فيها وكما ذكرنا سابقاً فإننا نستطيع التقليل منها بدفن المصادر في الأرض

مسار الموجة و جهة الموجة Wavefronts and Raypaths

هذان المصطلحان يعبران عن عنصرين مهمين في عالم السيزمية حيث أن أي تغير في سلوكهما يدل على حدوث أمر ما أو تغير في الوسط الذي تنتقل فيه الموجات وتستطيعون مشاهدتهما من خلال الصورة التالية :



أولاً :Raypaths

وهي عبارة عن عدد لانهائي من الخطوط الوهمية التي تمثل انتشار الموجات خلال الوسط وفي الصورة التيبالأعلى استخدمنا عدد بسيط من هذه الخطوط التي يمكن استخدامها جميعها .

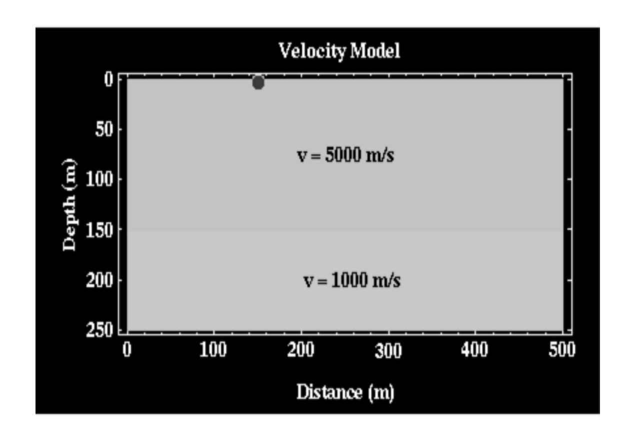
ثانياً :Wavefront

وهو الخط الذي يصل بين نقاط الموجاتالتي لها نفس السلوك وعند زمن محدد ... وفي الصورة التي بالأعلى نلاحظ أن الـ Wavefront اتخذ الشكل الكروي أو الدائري...ونلاحظ أيضاً أن خطوط ال Raypaths تكون عمودية على خط الـWavefront في هذه المثال نلاحظ مدى بساطة ال Raypaths حيث أنه ينتشر في وسط متجانس ,,,,

لكن ماذا سيحدث لهذا ال Raypaths لو بدأنا بتطبيقه على النماذج الأرضية المعقدة حيث تختلف الأوساط وسرعاتها ..؟

عرفنا كيف تتصرف الـ Raypaths إذا كانت الموجات تسري في وسط متجانس موحد السرعة...لكن ماذا سيحدث لخطوط الـRaypaths إذا أصبحت الموجات تسري ضمن الطبقات الأرضية باختلاف سرعاتها.

لاحظوا النموذج التالي:

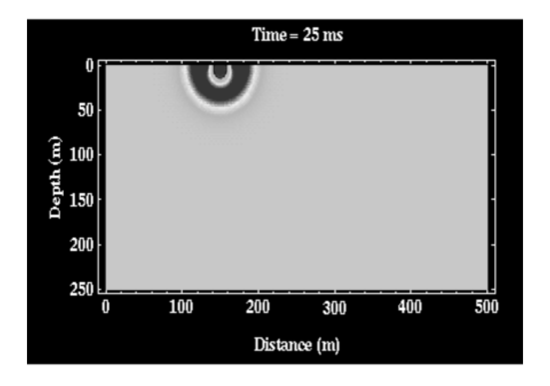


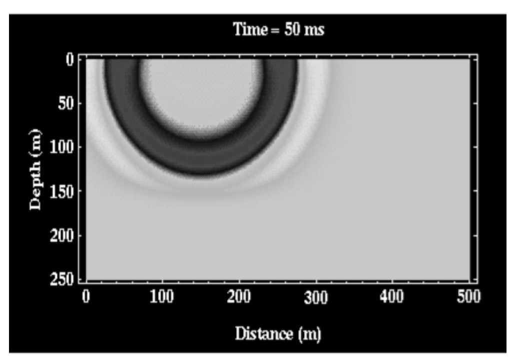
في هذا النموذج يتوضح لنا طبقتين صخريتين سرعة الطبقة الأولى 5000متر\ثانية وسمكها 150 متر وسرعة الطبقة الثانية 1000 متر \ ثانية وسمكها 100 متر .

فكيف ستتصرف خطوط الـ Raypaths عند سريان الموجات خلال هذه الطبقتين.. ؟

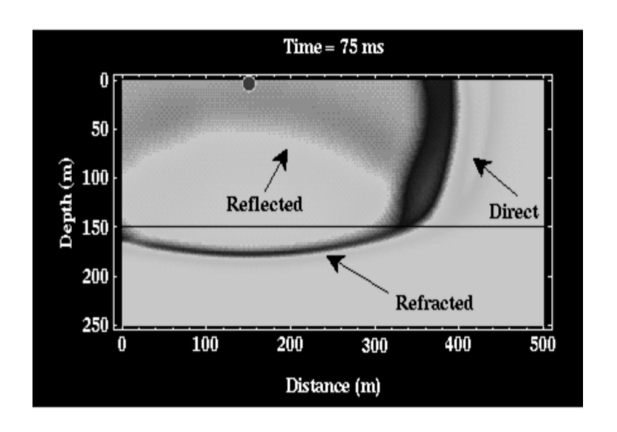
فتابعونا وكونوا معنا فهذا ماسنعرفه في هذا الرد.

عند انطلاق الموجات من المصدر(النقطة الحمراء) وانتشارها خلال الطبقة الأولى ستسلك خطوط الـ Raypaths نفس السلوك الذي سلكته في السابق حيث أنها لا زالت تسري في وسط متجانس ،،، دعونا نرى كيف ستتصرف الموجات بعد مرور 25 ملي ثانية من انطلاقها من المصدر وبعد مرور 50 ملي ثانية وبعد مرور 75 ملي ثانية ..





الآن بدأ الموجات في الوصول إلى الحد الفاصل بين الطبقتين على عمق 150مترللاحظ ما سيحدث .



أو بعد مرور 75 ملي ثانية بدأت الموجات بالتفاعل مع السطح الفاصل بين الطبقتين لكن ما نتيجة هذا التفاعل ..؟

جزء من الموجات استطاع اختراق السطح الفاصل منكسراً وهذا هو الجزء المستخدم في الدراسات الانكسارية ،وجزءً آخر انعكس مرتداً عن السطح الفاصل وهذا هو الجزء المستخدم في الدراسات الانعكاسية والجزء الثالث استمر في سريانه خلال الطبقة الأولى دون أن يتفاعل مع السطح الفاصل بين الطبقتين ويعرف باسم الموجات المباشرة .. direct wave

ومما سبق نلاحظ التالي :

أن نصف قطر الـ Wavefront قد تغير عند وصولالموجات إلى الحد الفاصل بين الطبقتين .

أن الطول الموجي لأولى الموجاتالمنكسر أقصر من الطول الموجي للموجات المباشرة.

لكن كيف عرفنا أن الطول الموجي قد تغير مع العمق وأصبح الطول الموجي للموجات المنكسرة أقصر من الطول الموجي للموجات المباشرة حتى نجيب على هذا التساؤل يجب علينا أن نعود ونسترجع العلاقة بين الطول الموجي والزمن الدوري وسرعة الموجات.

فقلنا أن :

$C=\lambda\backslash T$ حيث أن

= Cالسرعة

= λالطول الموجي

= Tالزمن الدوري

فإذا قمنا بتثبيت الزمن الدوري فإنهومن المؤكد ومع انخفاض لسرعة فإن الطول الموجي للموجة سوف يقصر .

الأمرالآخر هو تغير نصف قطر الـ Wavefront فهذا التغير يدل على وجود تغير في اتجاه خطوط الـ Raypaths ويصف لنا قانون سنل. Snell'sLaw.

كيف وصف قانون سنل تغيراتجاه انتشار الموجات ...؟ ذكرنا أن القانون الذي يصف لنا تغير اتجاه خطوط الـ Raypaths هو قانون سنل.Snell'sLaw

فما هو هذا القانون ..؟

يوضح لنا قانون سنل العلاقة بين سرعات الموجات وزوايا سقوطها وانكسارها .

في العادة تميل خطوط الـ Raypaths إلى الانتشار في خطوط مستقيمة مادامت تسري في وسط متجانس

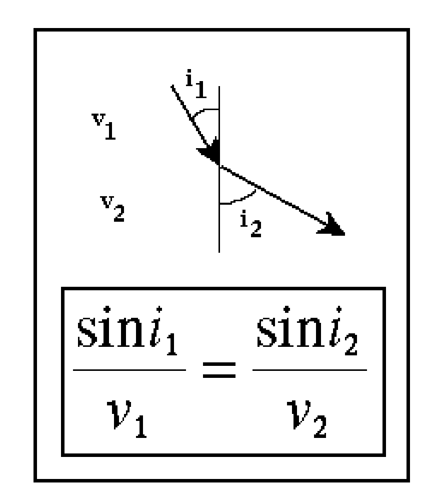
لكن لو بدأت هذه الخطوط في التفاعل مع الحدود الفاصلة بين الطبقات فإنها ستبدأ بتغييراتجاه مساراتها حسب قانون سنل .

ويصف قانون سنل الطريق الذي تسلكه خطوط الـ Raypathsعند نقطتين ثابتتين وهي نقطة سقوط الموجات على السطح الفاصل ثمنقطة انكسارها بعد عبورها الوسط الفاصل .

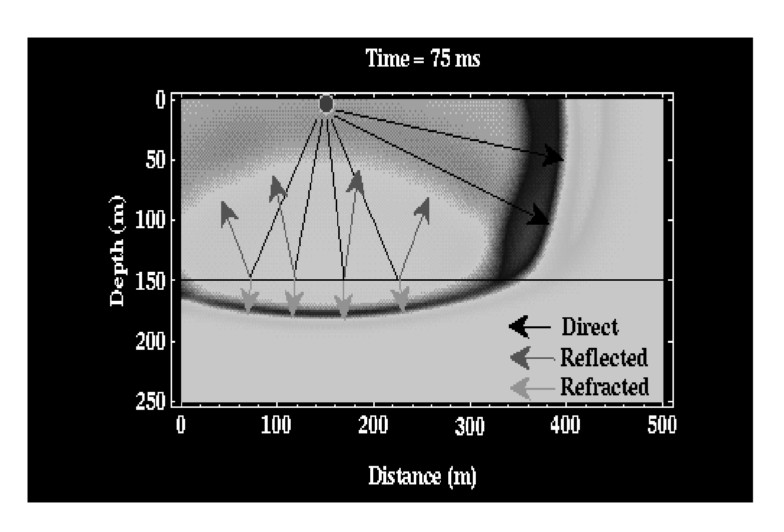
في حالتنا هذه والتي ذكرناها في الرد السابق تسير خطوط الـRaypaths في وسط عالي السرعة V1 منتقلة إلى وسط منخفض السرعةV2 ، الزاوية بين العمودي على الحد الفاصل للطبقة

وشعاع الـ **Raypaths** الساقط هي زاوية السقوط **i1** والزاوية بين العمودي على الحد الفاصل بين الطبقتين وشعاع الـ **Raypaths** المنكسر هي زاوية الانكسار **i2** .

وهذا هو نص الرياضي للقانون سنل والذي يربط بين المعاملات السابقة ...



في المثال الموجود لدينا وبما أن السرعة تقل مع العمق فإن زوايا السقوط عادة تكون أكبر من زوايا الانكسار وهذا ما وضحه لنا خط الـ **Wavefront** كما في الصورة التالية



حيث أن تقوس الـ Wavefront في الطبقة الأولى أكبر من تقوسهفي الطبقة الثانية ، ولكن ماذا سيحدث لو كانت السرعة تزداد مع العمق (V2 > V1) كما سيأتي معنا لاحقاً .. ؟ يتوقع قانون سنل أن تكون زوايا السقوط أصغر من زواياالانكسار حيث يظهر تقوس الـ Wavefront في الطبقة الثانية أكبر من تقوسه في الطبقةالأولى .

أيضاً يستطيع قانون سنل أن يتوقع لنا قيم زوايا الانعكاس وذلك بوضعV2=V1 حيث أن شعاع الـ Raypaths سيكون في نفس الطبقة في هذه الحالة ستكون قيمة زاوية السقوط مساوية لقيمة زاوية الانعكاس وهذا ما وضحه لنا خط الـ Wavefront في الصورة التي بالأعلى.

ملاحظة أخيرة : توضح الصورة السابقة خطوطالموجات المنكسرة والمنعكسة والمباشرة وجميعها موجات جسمية Body waves ، ولو كنا نضع المستقبلات على سطح الأرض فإننا سنستقبل فقط الموجات المنعكسة والمباشرة أما الموجات المنكسرة فإنها قد تغلغلت في العمق ولن نستطيع استقبالها على السطح .. لهذاالسبب ذكرنا سابقاً أن الطريقة الإنكسارية لا تعمل إذا كانت السرعة تقل مع العمق .

ومما سبق عرفنا كيف أن قانون سنل هو الذي يفسر لنا كيف تغير خطوط الـ Raypathsاتجاهها وذلك بربط السرعات مع الزوايا .

لكن ما الذي يتحكم في سرعة انتشار الموجات عبر الأوساط المختلفة ،،؟

في الرد السابق لاحظنا كيف أن الموجات تنتشر بسرعات مختلفة في باطن الأرض ومن خلال الطبقات .

ونحن على السطح نقوم باستقبال هذه الموجات بسرعاتها المختلفة كما استقبلنا الموجات المنعكسة في الرد السابق.

لذلك وجب علينا أن نعرف ما علاقة سرعة الموجات بالمعاملات الفيزيائية للصخور والتربة التي تمر من خلالها لأننا أولاً وأخير سنستفيد من هذه الموجات في معرفة ما تحت سطح الأرض لو افترضنا أنه يوجد لدينا وسط متجانس ,homogeneous isotropicفإن سرعة الموجات الأوليةP wave والموجات الثانويةS wave ستعطى بالعلاقات التالية:

$$V_p = \sqrt{\frac{\left(\frac{4}{3}\mu + k\right)}{\rho}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

حيث أن:

Vp: سرعة الموجات الأولية

Vs: سرعة الموجات الثانوية

ρ : density of the medium كثافة الوسط

μ : Shear Modulus معامل القص

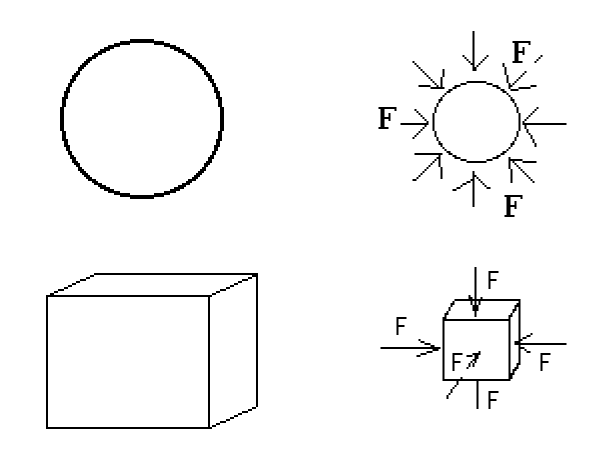
K : Bulk Modulus المعامل الحجمي

ويعرف كلاً من معامل القص والمعامل الحجمي باسم معاملات المرونة elastic parameters .. فما هي هذه المعاملات ..؟ والتي كما لاحظنا من القانون السابق أن لها دور كبير في التحكم بسرعة الموجات .

أولاً : معامل الحجم : Bulk Modulus والذي يعرف أيضاً باسم

the incompressability of the medium ...

تخيل أنه يوجد بين يديك مكعب منمادة ما .. وقمت بالضغط على هذا المكعب وأثرت عليه بقوى من جميع الجهات .. كما في الشكل التالي :



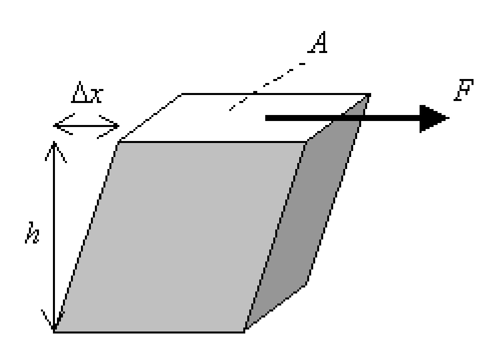
فإذا انضغط المكعب بكل سهولة وتغير حجمه فإن المعامل الحجمي له صغير مقارنة بمكعب صلب لا ينضغط بسهولة حيث يكون المعامل الحجمي له كبير ..

مثال : المعامل الحجمي للغازات صغير جداً أما المعامل الحجمي للمواد الصلبة كبير جداًحيث أننا وسهولة يمكننا أن نضغط مكعب من الغاز إلا أنه ومن الصعوبة من المكان أن تضغط على مكعب من الخشب وتصغر من حجمه .

ثانياً : معامل القص **Shear Modulus**

ويصف هذا المعامل مدى صعوبة تشويه المادة تحت تأثير قوة قصية.

مثال : أحضر مكعباً من مادة ما وليكن من الخشب مثلاً وضعه على سطح طاولة ما وقم بتثبيته عليها .. ثم أثر على السطح العلوي للمكعب بقوة اتجاهها موازٍ لسطح الطاولة ، عندها سيتشوه المكعب ويظهر على شكل متوازي أضلاع كما في الشكل التالي:



معامل القص يدل على مقدار القوة التي استعملتها لتشويه المكعب فلو كانت القوة كبيرة فإن معامل القص للمكعب كبير جداً وإذا كانت القوة بسيطة فإن معامل الفص صغير جداً .

لاحظ أن معامل القص لا يدعم الموادالسائل والغازية حيث انه من المستحيل التأثير عليها بقوة قص .

وبملاحظتنا للقانون الموضح في الأعلى فإن الموجات الثانويةلا تسري في الأوساط السائلة والغازية لأن قيم معاملات القص لها تساوي صفر وسرعة الموجات الثانوية تعتمد على معاملات القص فقط.

ومما سبق نعلم أن أي تغير في قيم المعاملات الفيزيائية للوسط (معامل القص، المعامل الحجمي، والكثافة) يؤدي إلى تغير سرعة الموجات المارة في الوسط..

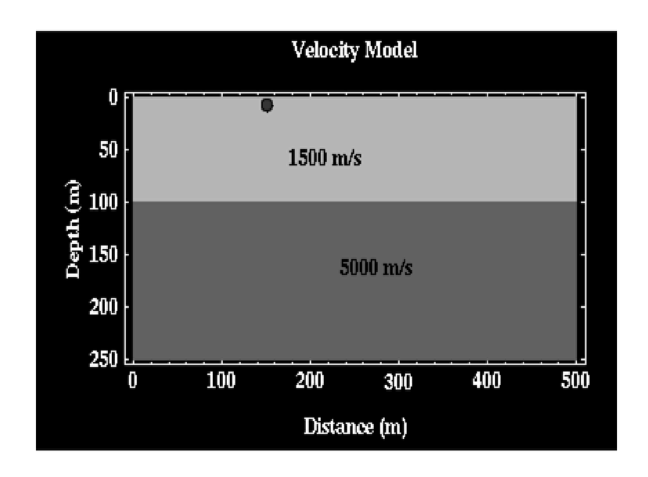
مثال : لو انتقلت الموجات من طبقة رملية غير مشبعة إلى طبقة أخرى مشبعة فإنه وبكل تأكيد ستتغير سرعة الموجات نتيجة لهذا الانتقال .. ويتحكم في ذلك كثافة الطبقة والمعاملات الحجمية لها .. حيث أن المسامات التي كانت مملوءة بالهواء أصبحت مملوءة بالماء ولو نلاحظ أن قيمة المعامل الحجمي للماء أكبر من قيمة المعامل الحجمي للهواء ..

وفي الواقع أن المعامل الحجمي هو العامل المتحكم في هذاالمثال لذلك نجد أن التغير في سرعة الموجات الأولية يكون أكبر من التغير في سرعة الموجات الثانوية .

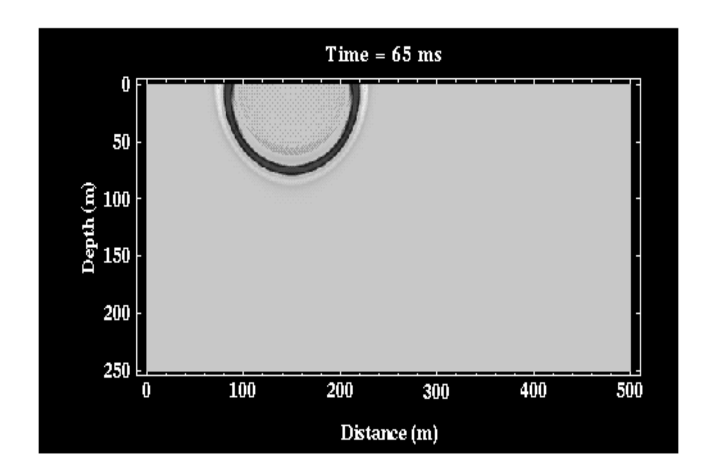
خلال دراستنا السابقة كانت لدينا مجموعة من الأمثلة عن انتشار الموجات من المصدر إلى باطن الأرض حيث تكون الطبقات التي في الأعلى عالية السرعة في حين أن الطبقات التي في الأسفل منخفضة السرعة.

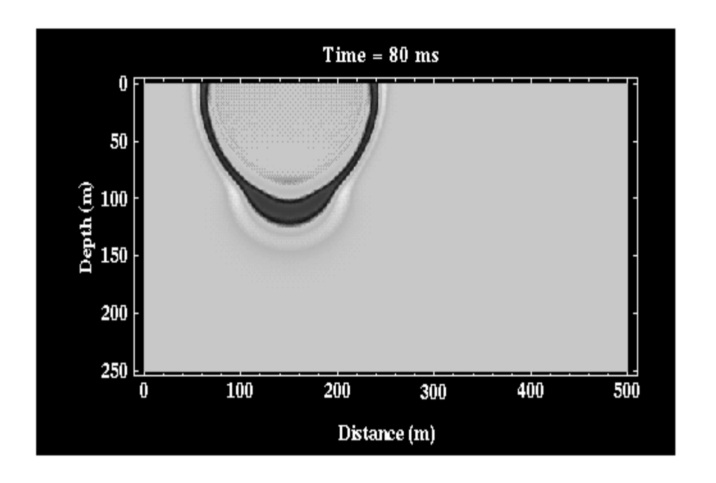
وفي هذه الحالة كنا نستقبل على سطح الأرض الموجات المباشرة والمنعكسة فقطفي حين أن التجربة كان يتولد عنها موجات منعكسة ومنكسرة ومباشرة.

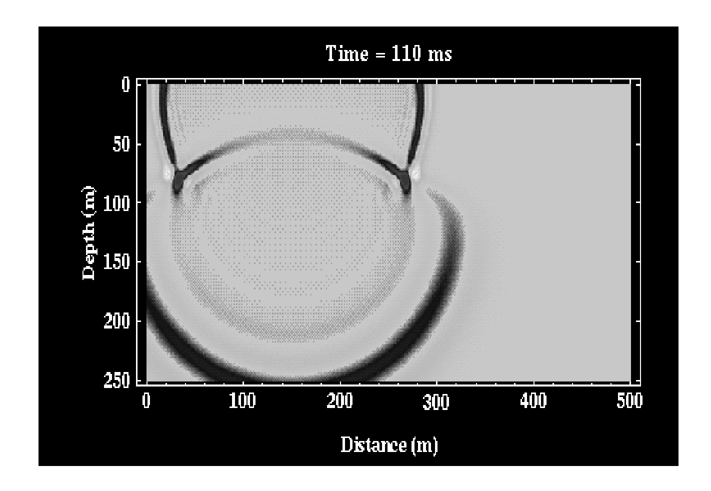
إذن ماذا سيحدث لو كانت الطبقات المنخفضة السرعة في الأعلى والطبقات العالية السرعة في الأسفل .. ؟ (كما في الصورة التالية) :



سنستعرض فيما يلي كيفية تصرف الموجات والسلوك الذي ستسلكه بعد 65 و 80 و 110 ملي ثانية.



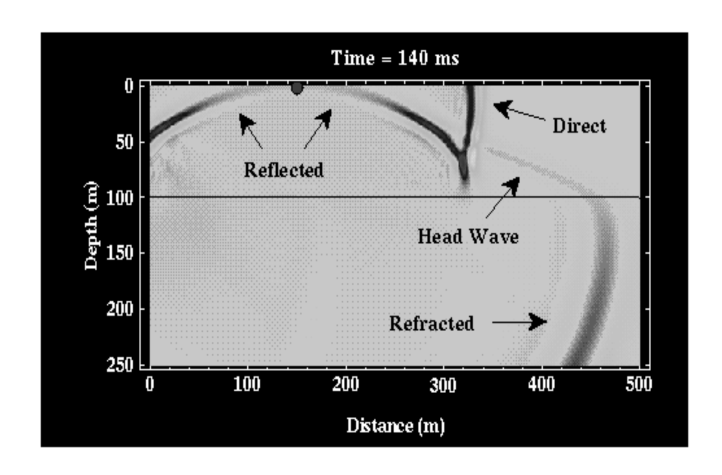

Time = 80 ms
Depth (m)
0
50
100
150
200
250
0
100
200
300
400
500
Distance (m)


Time = 110 ms
Depth (m)
0
50
100
150
200
250
0
100
200
300
400
500
Distance (m)

نلاحظ أن الصورة السابق تشبه تلك التي تحدثنا عنها عندما كانت الطبقات عالية السرعة فوق الطبقات المخفضة السرعة باستثناء تقوسالـ Wavefront حيث أن تقوس خط الـ Wavefront للموجات المنكسرة أشد من تقوس خط الـ Wavefrontللموجات المباشرة في حين كان تقوسه في المرة السابقة أشد في الموجات المباشرة من الموجات المنكسرة ، من ذلك نستنتج أيضاً أن الطول الموجي للموجات قد اختلف عما أخذناه في السابق حيث أن الطول الموجي للموجات المنكسرة أصبح أكبر من الطول الموجي للموجات المباشرة .

لو دققنا النظر في الأشكال السابقة سنلاحظ أنه ومنذ 0إلى 70 ملي ثانية كانت الموجات تسري في الطبقة العلوية وعند 80 ملي ثانية بدأت بالتفاعل مع الحد الفاصل بين الطبقتين حيث ارتد جزء من الموجات عن السطح الفاصل وهي الموجات المنعكسة والجزء الآخر اخترق الحد الفاصل وهي الموجات المنكسرة.

وإذا سمحنا للموجات بالانتشار أكثر داخل هاتين الطبقتين ستحدث لدينا ظاهرة مثيرة للغاية توضحها الصورة التالية .



في الصورة السابقة نلاحظ أن جزء من الموجات المنكسرة قد انتشرخلال الطبقة السفلية موازياً للحد الفاصل بين الطبقتين .. كذلك جزء من الموجات المباشرة انتشر ومن خلال الطبق العلوية موازياً للحد الفاصل بين الطبقتين .. ومع مرور الوقت تبدأ الموجات المنكسرة في الظهور في الطبقة الأولى منتج موجد جديدة تعرف باسم الموجات الرأسية.

هذه الظاهرة لم تكن موجودة عندما كانت الطبقات العالية السرعةفي الأعلى والسبب أن الموجات المنكسرة لم تكن لتنتشربشكل موازي للحد الفاصل ولا كان لتظهر في الطبقة العلوية .. وقد ظهرت في حالتنا هذه بسبب التناسب بين انتشار الموجات المنكسرة والمنعكسة والمباشرة وتحركها بشكل أفقي في الطبقة العلوية .

وعند استقبالنا لهذه الموجات على سطح الأرض ستستقبل أجهزتنا الموجات المباشرة أولاً تليها الموجات المنعكسة .. هذا إذا كانت المسافات قصيرة بين المصدر والمستقبل .أما لو وضعنا المستقبلات على مسافات بعيدة عنالمصدر فعند مسافة ما سوف تبدأ المستقبلات في استقبال الموجات المنكسرة (الرأسية) قبل الموجات المباشرة والمنعكسة .

إذن وفي حالة ما إذا كانت السرعة تزيد مع العمق فإن المستقبلات ستستقبل الموجات المباشرة أولاً إذا كانت المسافة بين المصدروالمستقبلات قصيرة أو لو كانت المسافة بين المصدر والمستقبلات كبيرة فإن الأجهزة ستستقبل الموجات الرأسيةHead waves أولاً وهذا هو الأساس في المسح بالطريقة السيزمية الإنكسارية

لكن ماهي الموجات الرأسية والتي تعتبر الأساس للطريقةالسيزمية الانكسارية فكيف ظهرت وماهي مميزاتها ..؟

في عمليات المسح السيزمي الإنكسارية نهتم بدراسة زمن أولى الموجات وصولاً بالإضافة إلى المسافات بين المصادر والمستقبلات .

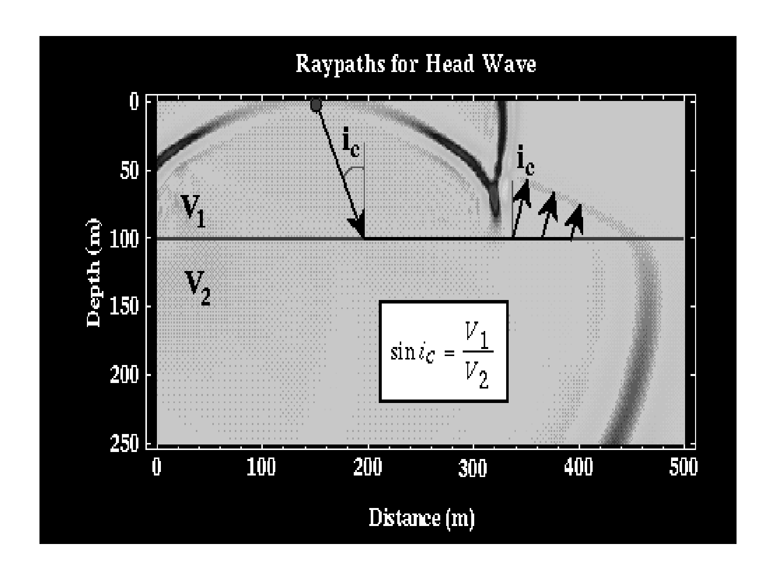
وفي الطريقة الإنكسارية تكون أولى الموجات وصولاًهي الموجات المباشرة أو الموجات الرأسية.

إذن سنهتم بدراسة زمن وصولهاتين الموجتين .

إن حساب زمن وصول الموجات المباشرة بسيط نسبياً فهو عبارةعن المسافة الأفقية بين المصدر والمستقبل مقسومة على السرعة.

ولحساب زمنوصول الموجات الرأسية فإننا نحتاج أولاً إلى معرفة الطريق الذي تسلكه هذه الموجات .

ويمكن أن توضح لنا خطوط الـ raypath الطريق الذي تسلكه الموجات الرأسية بالتعاون مع قانون سنل ... نحن نعلم أن خطوط الـRaypaths تكون عادة عموديةعلى الـ Wavefronts وفي الصورة التالية قمنا برسم ثلاثة من خطوط الـ Raypathsالخارجة من الطبقة السفلية إلى الطبقة العلوية مروراً بالحد الفاصل بين الطبقتين وسنرمز للزاوية بين هذه الخطوط والعمودي على الحد الفاصل بالرمز ic .



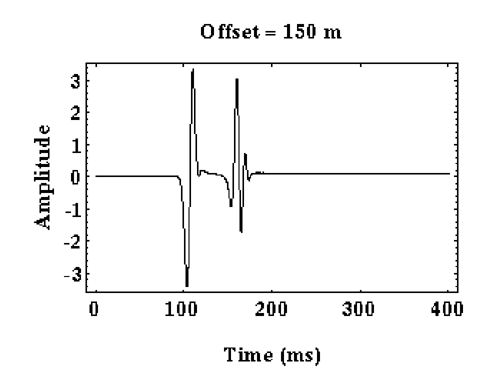
ولو قمنا باستبدال ic مكان i1 في قانون سنل وبالطبع ستكون قيمةi2 تساوي 90 درجة .. سنستطيع عندها حساب زاوية السقوط التي تكون عندها زاوية الانكسار تساوي 90 درجة وتسمي زاوية السقوط هذه باسم الزاوية الحرجة critical angle وهذه هي زاوية سقوط الـ Raypaths الممثل للموجة الرأسية .. باختصار شديد فإن السلوك الذي تسلكه الموجات الرأسية والذي وضحته لنا خطوط الـ Raypaths يتمثل في الآتي انطلاق الموجات من المصدر و مرورها خلال الطبقة الأولى وبسرعة الطبقة الأولى ثم تسقط بزاوية حرجة على الحد الفاصل بين الطبقتين وتنكسر لتسري أفقياً في الطبقة الثانية وبسرعة الطبقة الثانية ثم تعود إلى الطبقة الأولى وتمر من خلالها بسرعتها لتستقبلها المستقبلات على السطح .

وبالرغم أن الموجات الرأسية تسافر عبرمسافة أطول من تلك التي تقطعها الموجات المباشرة direct arrival إلا أنها تصل قبلها في بعض المسافات والسبب في ذلك أنها تزيد من سرعتها خلال مرورها في الطبقة الثانية ولذلك فإننا نسجلها أحياناً قبل أن نسجل الموجات المباشرة... فكيف تتم عملية تسجيل البيانات ..؟ تسجيل الحركات الأرضية حتى الآن عرفنا كيف تنتشر الموجات في باطن الأرض وكيف تتفاعل مع الحدود الفاصلة بين الطبقات.

فالبعض منها ينطلق عبر الطبقة الأولى دون أن يتفاعل مع الحد الفاصل ،والبعض الآخر ينعكس مرتداً عن الحد الفاصل والبعض الآخر يعبره منكسراً وعائداً إلينا على شكل موجات رأسية ... ولكم كيف نسجل هذه الموجات ...؟

من المعلوم لدينا أن الموجات تنتشر في جميع الاتجاهات ولكننا وللأسف الشديد لا نستطيع تسجيلها كلها .. ولذلك فإننا نكتفي بتسجيل تلك الموجات التي تصل إلينا على السطحوفي منطقة محددة ...وفي الواقع أن ما نسجله هو عبارة عن الحركات الأرضية الناشئة عن الموجات التي قمنا بإصدارها...ونستطيع أن نستقبل هذه الحركات بواسطةas seismometers أو geophones

وسنتحدث عن هذه الآلات بالتفصيل لاحقاً وخلاصة القول اننا نستطيع تسجيل ودراسة الحركات الأرضية الناتجة عن مصادرنا الزلزالية ونستقبلها على الشكل التالي :

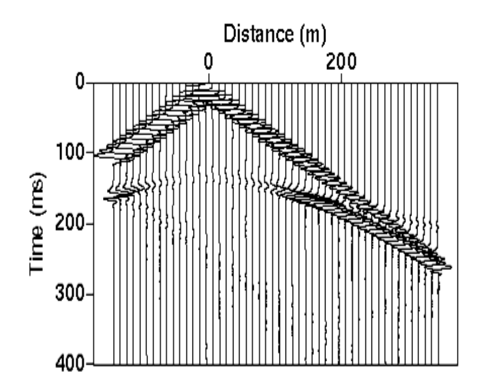


وفي هذا الشكل مثل المحور الأفقي التغير في الزمن مع انتشارالموجات ويمثل المحور القائم (الصادي) التغير في الطول الموجي للموجة أما الخط المتعرج فهو يمثل الحركة الأرضية ويطلق عليه اسم... **seismogram** في الشكل الموجود لدينا نلاحظ أن أول تغير في خط الـ **seismogram** تم عند 100 ملي ثانية تلاه تغير آخر حدث بعد 150 ملي ثانية هذه التغيرات تدل على بداية استقبال الموجات ..

ولكن ماهي هذه الموجات .. ؟ فنحن نعلم أن الموجات المباشرة هي أولى الموجات وصولاً إلا أنه وفي بعض الأحيان تكون الموجات الرأسية هي أولى الموجات وصولاً ..

فكيف أستطيع تحديد نوع الموجة المُستقبَلة ...؟

من المستحيل معرفة طبيعة الموجة المستقبلة من خلال قراءة واحدة فأنا أحتاج للعديد من القراءات لتحديد نوع هذه الموجات.. لذلك نقوم بعمل مجموعة من القراءات المختلفة وفي نفس الوقت ونقوم بوضعها على الصورة التالية ..

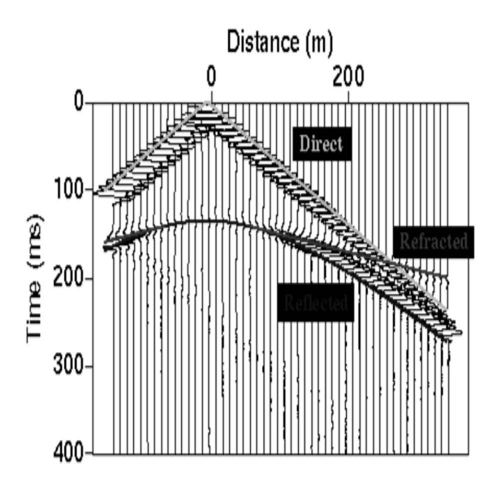


وفي هذا الشكل يمثل المحور الأفقي المسافة بين المصدروالمستقبلات.. ويمثل المحور الرأسي التغير في الزمن مع انتشار الموجات ... ويمثل كل خط من خطوط الـ seismogramالحركة الأرضية التي استقبلها المستقبل الموجد عند نفس الموقع .

مثال : الخط الموجود على بعد 200 متر من المصدر يمثل الحركة الأرضية التي استقبلها المستقبل الموجود عند 200 متر ..

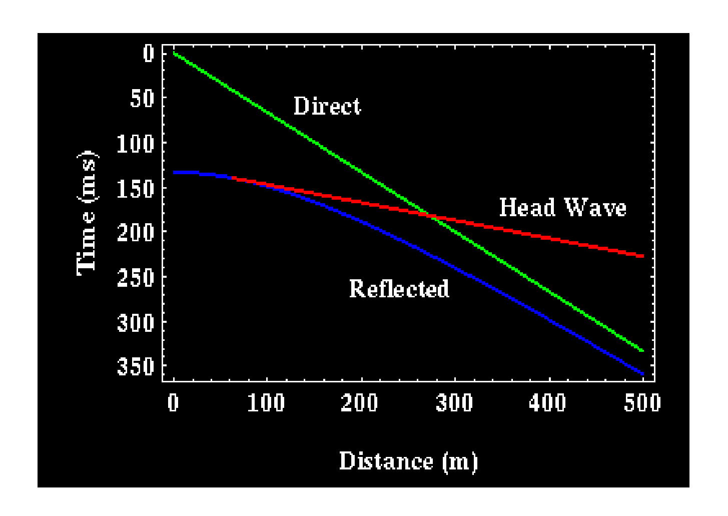
وهكذا .. بعد ذلك قمنا بجمع جميع البيانات التي استقبلناها ووضعناها على الشكل الذي ترونه بالأعلى والذي يعرف باسم.. shot records ومن مميزات وضع البيانات بهذا الشكل أنه سياعدنا على تحديد زمن أولى الموجات وصولاً بالإضافة إلى المسافات التي نستقبلعندها هذه الموجات.

لو نلاحظ أنه كلما ابتعدت المسافة عن المصدر كلماتأخر زمن وصول الموجات .. هذا الاختلاف في الوقت مقابل المسافة يسمى moveout وإذا كان التغير في الـ moveout كبير فإنه سيظهر على الـ shot records على شكل خط شديد الميل في حين إذا كان التغير صغير فسيظهر على شكل خط بسيط الانحداركيف نستطيع تحديد أنواع الموجات بواسطة الـ ... shot records ؟لاحظ الشكل التالي .



كما ذكرنا سابقاًّ أن الموجات المباشرة ستكون أولى الموجات وصولاً وبالذات عند المستقبلات القريبة من المصدر ... وتظهر هذه الموجات علىshot records بطول موجي عالي ويكون الـ moveout لها كبيروثابت ... في المثال الموجود لدينا يمتد الخط المستقيم الممثل direct arrivaz حتى مسافة 275 مترمن المصدر وبعد 275 متر يظهر لدينا خط ، الطول الموجي له قصير بعض الشيءوالـ moveout صغير وثابت وميل هذا الخط أقل بكثير من ميل خط الـ direct arrival

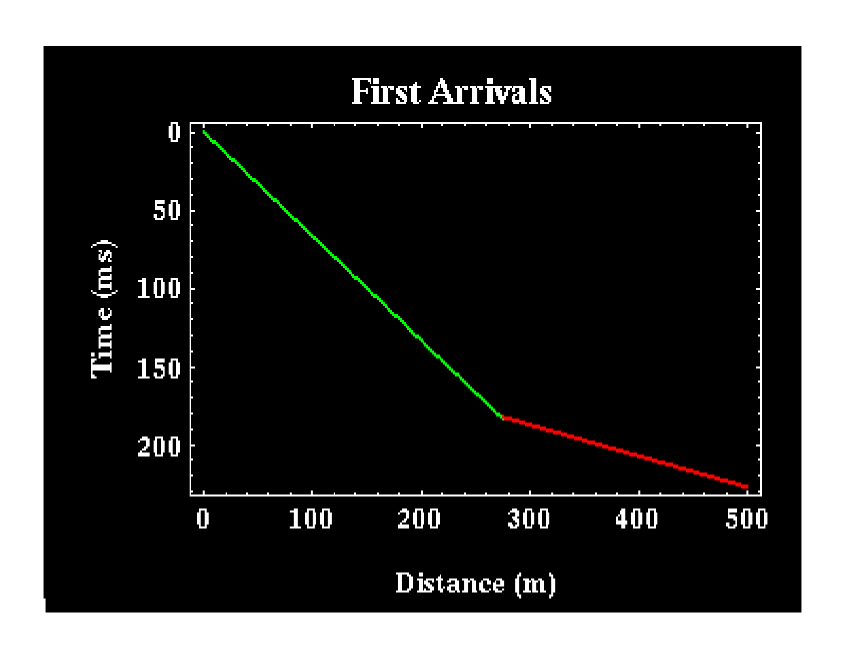
أيضاً يوضح لنا الـshot records أن آخر الموجات وصولاً وعند جميع النقاط هي الموجات المنعكسة ... reflected arrival ونلاحظ ان الـ moveout للـ reflected arrivalغير ثابت حيث يساوي صفر عند المصدر وتقترب قيمته من الـ direct arrival على بعد مسافات كبيرة من المصدر .. وعند رسم العلاقة بينزمن أولى الموجات وصولاً مع المسافات بين المصدر والمستقبلات يطلق على الشكل اسم-travel time curves ويظهر على الصورة التالية ..



ونستطيع من خلال الشكل السابق تحديد الـ first arrivalعندكل نقطة استقبال ..

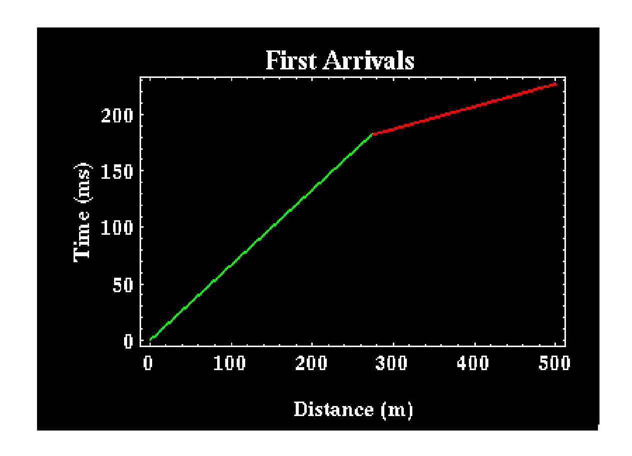
فلو نلاحظ أن الـ first arrival من المصدر وحتى مسافة 275 متريمثل الـ direct wave أما بعد الـ 275 متر فإن الـfirst arrival يمثلhead wave .

سنأتي بالـtravel-time curve ونركز على أولى الموجات وصولاً ، بمعنى آخر نحدد نوع أولى الموجات التي استقبلتها المستقبلات .. فهذا هو لب الطريقة الانكسارية التركيز على زمن أولى الموجات وصولاً وربطها بالمسافة بين المستقبلات و المصدر وسيظهر الـ Plotting كما في الشكل التالي ..



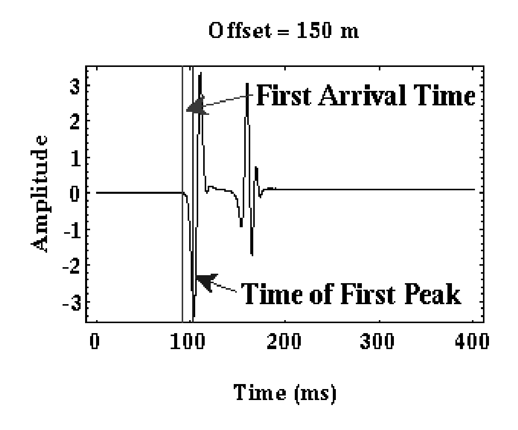
في الطريقة الانعكاسية نلاحظ ان الموجات تتغلغل إلى العمق لذلك فالزمن يتغير بتغلغل الموجات إلى أسفل ثم ارتدادها.

أما في الطريقة الانكسارية فالموجات تنكسروتعود إلينا مرة أخرى فلذلك التغير في الزمن يكون مع صعود الموجات إلى أعلى وعلى هذا الافتراض قمنا بتغيير الشكل السابق على اعتبار ان الزمن يتغير كلمااتجهنا إلى أعلى على الصورة التالية ...



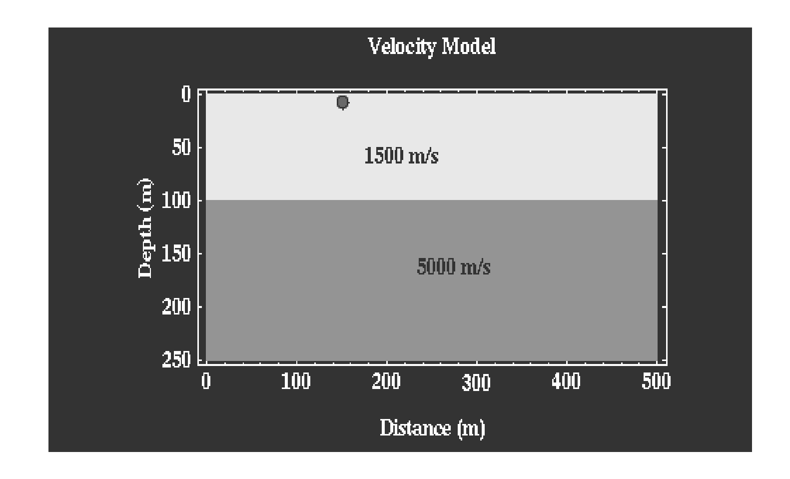
وفي الواقع انه لا يوجد فرق بين الشكلين السابقين إلا أننا سنستخدم النموذج الذي يتغير فيه الوقت كلما اتجهنا إلى أعلى .. وفي الشكل السابق نلاحظ أن الـ-travel time curve وضح لنا زمن وصول أولى الموجات بخطين مستقيمين متقاطعين .. الخط الأخضر يمثل وصول الموجات المباشرة direct arrival والخط الأحمر يمثل وصول الموجات المنكسرة refracted arrival ونستطيع التميز بين الخطين بواسطة اختلاف ميل كل منهما . وتسمى النقطة التي يتقاطع عندها الخطين باسم crossover distance وبعد هذه النقطة تبدأ الموجات المباشرة بالاختفاء لتكون الموجات المنكسرة هي أولى الموجات وصولاً ... كيف استطعنا تحديد الـ First Arrivalsمن الـ.. shot records ؟ كما ذكرنا في الردود السابقة أن الـ shot recordsعبارة عن مجموعة من الـ

seismograms التي تم تسجيلها من مسافات مختلفة من المصدر .. لذلك فنحن عندنا تحديدنا للـ First Arrivals منالـshot records يجب أننحددها أولاً في الـ seismogramsوذلك بتحديد الزمن الذي يحدث عنده أول تغير فيحركةالـ seismograms لاحظ الشكل التالي حيث يحدد الخط الأحمر زمن أولتغير في خط .seismograms



وفي الواقع ان تحديد زمن أول تغير على هذا الـseismograms سهل جداً حيث لايوجد أي تغير عليه قبل هذا الوقت المشار إليه بالخط الأحمر ... لكن ماذا لو وجد بعض المصادر المشوشة على الـseismograms والتي سوف نتحدث عنها لاحقاً ..؟ سيؤدي ذلك إلى صعوبة في تحديد الـFirst Arrival

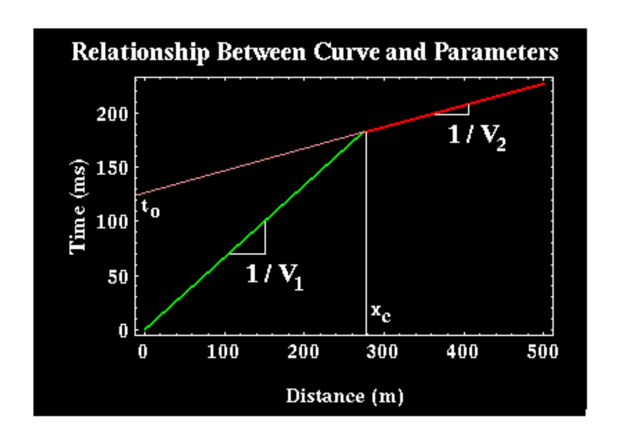
وفي العادة نفضل نحن الجيوفزيائيين اختيار أول قمة بعد التغير الأول كما هوموضح بالخط الأزرق في الشكل الموجود أعلاه .. الآن وبعد أنعرفنا كيفية رسم الـ ... first arrival travel-time curves فكيف يمكنناالاستفادة من هذا الـ curveفي تحديد التركيب الموجود لدينا تحت سطح الأرض .. لو افترضنا أن شكل التركيب الموجود لدينا كالتالي:



عبارة عن طبقتين سرعة الطبقة الأولى أبطأ من الطبقة الثانية (single layer over a halfspace)والسطح الفاصل بينهما عبارة عن خط أفقي.

فكيف سيكون شكل ال first arrival travel-time curves لهذا التركيب .. ؟

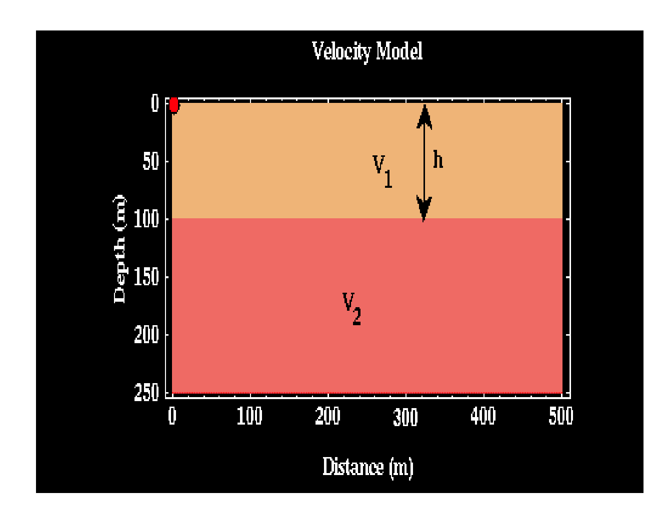
سيكون على الصورة التالية :

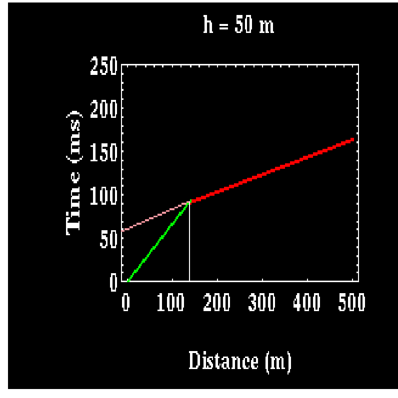


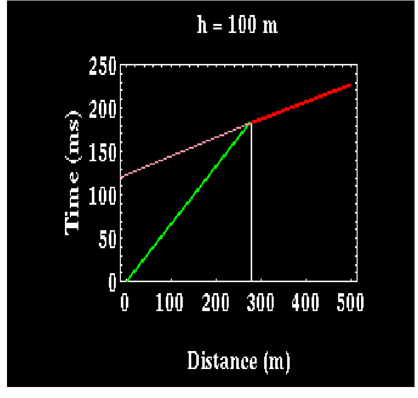
دعونا نركز على دراسة الخط الأخضر الموجود في الـ curve ، يمثل هذا الخط أولى الموجات وصولاً إلى المستقبلات وهي في الواقع الموجات المباشرة وهي تلك التي عبرت من خلال الطبقة الأولى دون أن تتفاعل مع الحد الفاصل بين الطبقتين ... لو دققنا النظر فسنجد أن هذا الـ curve يوضح العلاقة بين المسافات والزمن .. لذلك فمن خلال الخط الأخضر نستطيع تحديد سرعة الموجات المباشرة وذلك بقسمة المسافة بين المستقبل والمصدر على زمن وصول الموجات .. وفي المقابل نستطيع تحديد سرعة وصول إلى أي مستقبل من المستقبلات بتحديد بعده عن المصدر وزمن وصول أولى الموجات إليه .

إذن من السهل جداً تحديد سرعة الموجات بواسطة هذه الخطوط وذلك بتحديد ميلها ثم إيجاد مقلوب أو معكوس الميل لإيجاد سرعة سريان الموجة خلال الطبقة .. وبنفس الطريقة بالنسبة للخط الأحمر حيث يمكننا ومن خلاله تحديد سرعة الطبقة الثانية فهو يمثل الموجات الرأسية head wave وهي تلك التي صعدت إلينا بعد مررها من خلال الطبقة الثانية حاملة سرعتها.

إذن ومن خلال الـ first arrival travel-time curves استطعنا تحديد عدد الطبقات الموجودة لدينا بالإضافة إلى سرعة انتشار الموجات في كل منها .


Velocity Model
Depth (m)
0
50
100
150
200
250
V1
V2
h
0
100
200
300
400
500
Distance (m)


h = 50 m
Time (ms)
250
200
150
100
50
0
0
100
200
300
400
500
Distance (m)


h = 100 m
Time (ms)
250
200
150
100
50
0
0
100
200
300
400
500
Distance (m)

نستطيع أيضاً ومن خلال first arrival travel time curves تحديد سمك الطبقات ..في المثال الموجود لدينا ، سمك الطبقة الأولى حوالي 100 متروسمك الطبقة الثانية 150 متر فكيف نستطيع معرفة ذلك من خلال.first arrival travel time curves هل عن طريق دراسة ميل الخطوط الموجودة لدينا ..؟

طبعاً لا ، لأن الميل يوضح لنا سرعة انتشار الموجات من خلال الطبقات.. لو كان عندنا 2 models ،،،في الـ model الأول كان سمك الطبقة الأولى 100 متر ... وفي الـ model الثاني سمك الطبقة الأولى 50متر .. هل تتوقع أن يظهر الخط الأحمرالممثل Head wave سريعاً أم أنه سيتأخر في الظهور أو أنه سيظهر في نفس الوقت ..؟

نلاحظ في الشكل السابق أن الخط الحمر ظهر سريعاً عندما كان سمك الطبقة 50 متر مما أثر على طول الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرة direct wave فيحين أنه ظهر متأخراً عندما كان سمك الطبقة 100 متر مما جعل الخط الأخضر أطول بعض الشيء . لكن لماذا ..؟

فيما سبق ذكرنا أن الموجات الرأسية head wave تسري من المصدر وتمر من خلال الطبقة الأولى حتى تصل إلى الحد الفاصل بين الطبقتين ثم تسري أفقياً خلال الطبقة الثانية وتعود إلى الطبقة الأولى .

لذلك فإنما يحكم زمن وصولها هو المسافة التي تقطعها حتى تصل إلى المستقبلات فإذا كانت المسافة قصيرة كما في الـ model الأول حيث كان سمك الطبقة 50 متر فوصلت الموجات الرأسية سريعا وانعكس ذلك على طول الخط الأخضر الممثل للموجات الأولية direct wave حيث ظهر قصيراً في الحالة الأولى وازداد طوله في الـ modelالثاني حيث زادت المسافة التي تقطعها الموجات الرأسية إلى 100 متر مما أدى إلى ظهورها متأخرة .

ونستطيع تحديد المكان الذي ستظهر فيه الموجة الرأسية بواسطة معاملين مهمين :

المعامل الأول: هو cross-over distance (xc) وهو تقاطع الخط الأبيض مع محور المسافة تمثل تلك القيمة المسافة التي تكون عندها الموجاتالرأسية Head wave أولى الموجات وصولاًfirst arrival

المعامل الثاني :هو zero-offset time (to) وهو تقاطع الخط الوردي مع المحور الرأسي المُمثل للزمن والموضح في الـ plots الموجود بالأعلى ... وهذه هي قيمة الزمن الذي تكون عندهالموجات الرأسية Head wave هي أولى الموجات وصولاً ..

من حيث المبدأ يمكنناحساب كلاً من هذين المعاملين ، لكن عملياً فإن الـ-zero offset timeهو الأكثرشيوعاً في الاستخدام وذلك لسهولة قياسه .. وهكذا وبقياس xcأو to فإننا نستطيع حساب سمك الطبقة h وذلك وفقاً للقوانين التالية ...

$$h = \frac{t_o V_2 V_1}{2\left(V_2^2 - V_1^2\right)^{1/2}}$$

or

$$h = \frac{x_c}{2}\left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}\right)^{1/2}$$

حيث أن :

:hسمك الطبقة

: V1سرعة الطبقة الاولى

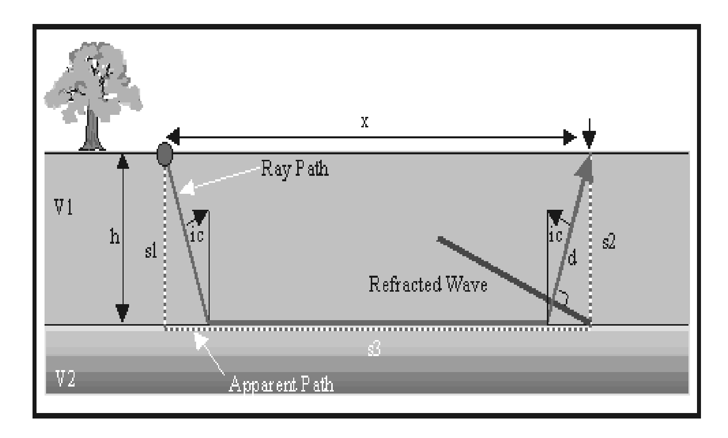
: V2سرعة الطبقة الثانية

zero-offset time: t0

crossover distance : xc

وبتحديدنا لسمك الطبقة عرفنا تقريباً جزءاً من المسافة التي تقطعها الموجاتالرأسية Head wave في رحلتها حتى تصل إلينا على السطح حاملة إلينا المعلومات عنالتراكيب الموجودة تحت الأرض ... لكن ما هي تفاصيل هذه الرحلة ..؟وكم من الوقت تستغرقه هذه الموجات حتى تصل إلينا ..؟

لاحظا الصورةالتالية..



هذه الصورة توضح مسار الـ raypath للموجات الرأسية head wave ابتداءً من المصدر وحتى المستقبل

لو أردنا حساب الزمن الذي تستغرقه هذه الموجة حتى تصل إلى المستقبل فسنستخدم المعادلة التالية:

$$t_T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h\sqrt{V_2^{\,2} - V_1^{\,2}}}{V_2 V_1}$$

نحن نعلم أن الزمن = المسافة ÷ السرعة ومن ذلك نستطيع حساب الزمن الذي تستغرقه الموجات منذ انطلاقها من المصدر وحتى وصولها إلى السطح الفاصل بين الطبقتين S1 ثم عبورها خلال الطبقة الثانية S3 ومن ثم عودتها إلى المستقبلات S2 وذلك على النحو التالي:

$$t_T = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{s_1}{V_1} + \frac{s_2}{V_2} + \frac{s_3}{V_1}$$

في الصورة السابقة يوجد خطأ في كتابة المعادلة حيث أن S2 يجب أن تحل محل . S3

ومن الصورة الموجودة في بداية الرد فإن الزمن الذيتستغرقه الموجات من انطلاقها من المصدر وحتى وصولها إلى السطح الفاصل يساوي نفسالزمن الذي تستغرقه الموجات من عودتها من الطبقة الثانية وحتى تصل إلى المستقبل .

إذن

$$t_1 = t_3 = \frac{d}{V_1} = \frac{h\cos i_c}{V_1}$$

والزمن الذي تستغرقه الموجات أثناء مرورها في الطبقة الثانية يكون على الشكل التالي:

$$t_2 = \frac{x}{V_2}$$

إذن يكون زمن الرحلة الكلي للموجات الرأسية **head wave**

$$t_T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h\cos i_c}{V_1}$$

ومن قانون سنل فإن :

$$\cos i_c = \frac{1}{V_2}\sqrt{V_2^2 - V_1^2}$$

وبذلك يصبح القانون على النحو التالي :

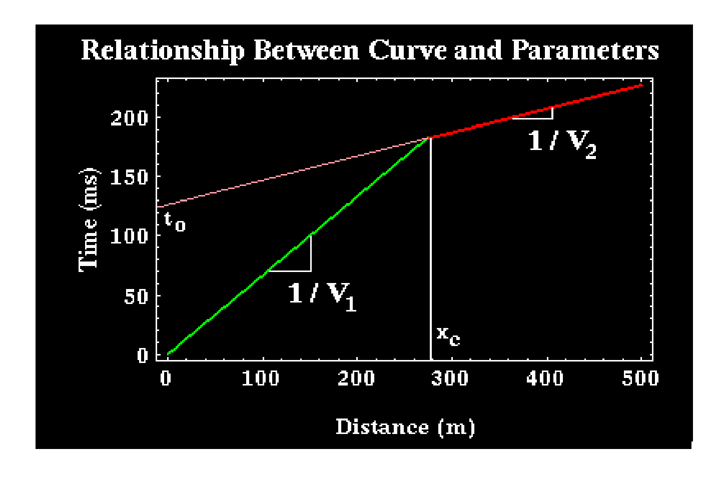
$$t_T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2 V_1}$$

لو تلاحظوا أن المعادلة السابقة عبارة عن معادلة خط مستقيم

ص = أ س + ب

حيث أن أ هي قيمة الميل وهي في المعادلة عبارة عن V21/ و بتعبر عن الجزء المقطوع من المحور ص وهي عبارة عن t0 اللي اتكلمنا عنها في الردودالسابقة.

ولو لاحظنا الشكل التالي:



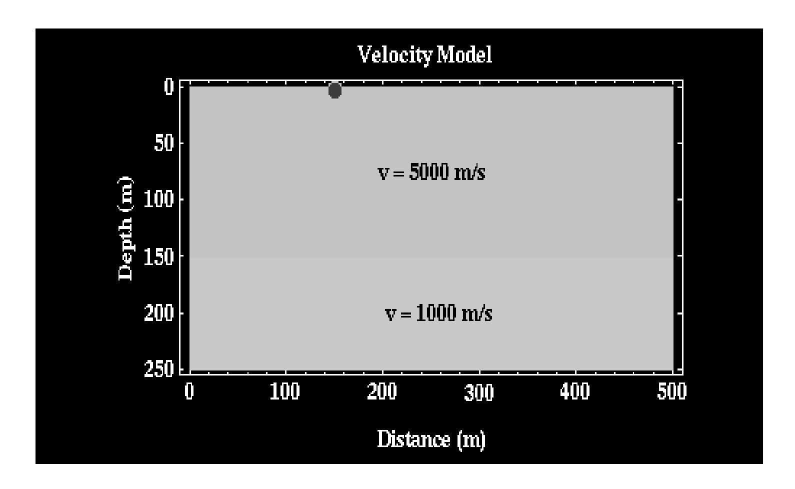
نلاحظ أن الخط الأحمر هوالذي يمثل الموجات الرأسية ومعادلة هذا الخط تعبر عن زمن الرحلة للموجات الرأسية.

في النموزج السابق تعرفنا على نموذج بسيط يوضح كيفية تفاعل الموجات مع السطح الفاصل بين طبقتين بحيث تزداد السرعة مع العمق .

وتعرفنا على الموجات الرأسية head wave وسبب ظهورها وكيفية الاستفادة منها .

وعرفنا كيفية تحليل البيانات بالطريقة الانكسارية وذلك بتحديد زمن وصول أولى الموجات ومن ثم إيجاد عدد الطبقات وسرعة كل طبقة وسمكها

لكن ماذا لو كانت السرعة تقل مع العمق كم في الشكل التالي :



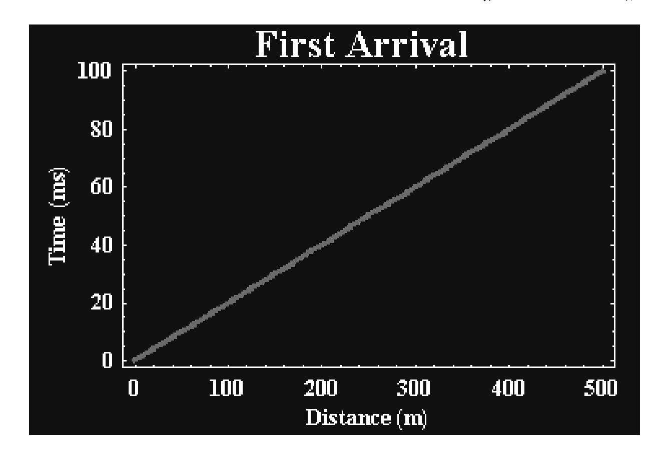
فكيف تتفاعل الموجات مع السطح الفاصل بين الطبقتين .

يكون التفاعل كما في الصورة التالية .

لاحظ أنه وفي هذه الحالة لم تظهر لدينا الموجات الرأسية .

إذن كيف سيكون شكل الـ .. travel-time curve ؟

سيظهرلنا الـ travel-time curve نوع واحد من الموجات لأنه لم يستقبل سواها كما في الشكل التالي :



هذا الخط يمثل الطبقة الأولى فقط ويدل على الموجات المباشرة التي استقبلتها المستقبلات .

من هنا نعلم أنه لا يمكننا الاستفادة من الطريقة الانكسارية إذا كنت السرعة تقل مع العمق .. إذ أننا لا نحصل على أي معلومات عن الطبقة الثانية .

ومن أكثر المصادر استعمالاً :

1- Impact Sources: وتعتبر المطرقة الثقيلة من أكثر هذه المصادر استعمالاً حيث يوضع قرص معدني على الأرض ويضرب بواسطة المطرقة توصل بنظام التسجيل حيث يتم تسجيل الموجات الصادرة عنها عن طريق الجيوفون.

من مميزات هذا المصدر أنه بسيط وسهل الاستخدام من عيوبه أن العملية تتم يدوياً ولاتنتج الكثير من الطاقة ويولد الكثير من الموجات السطحية.

2-Gun Sources: وهي عبارة عن طلقات تطلق على الأرض حيث تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة زلزالية .

وكما في المطرقة الثقيلة يكون هذا المصدر متصل بنظام التسجيل لتسجيل زمن انطلاق الموجات واستقبالها بواسطة الجيوفون.

ومن مميزات هذا المصدر أنه لا يولد الكثير من الموجات السطحية وينتج الكثير من الطاقة

ومن سلبياته أن تكاليف استخدامه مرتفعة مقارنة بالمطرقةالثقيلة إضافة إلى حاجتك إلى تصريح لاستخدام هذا النوع من الأجهزة.

3- Explosive Sources وتنتج هذه المصادر المتفجرة كمية كبيرة من الطاقة وهي عبارة عن صندوق يحتوي على المادة المتفجرة ثم يقذف بطلقات تؤدي إلى تفجيره .

وكما في المصادر السابقة يرتبط هذا المصدر بنظام التسجيل ليتم تسجيل زمن انطلاق الموجات واستقبالها بواسطة الجيوفونات..

ومن مميزات هذا المصدر أنها تنتج كمية كبييرة من الطاقة مقارنة بالمصادرالسابقة ولا تنتج الكثير من الموجات السطحية ..

ومن مساؤها أنها خطرة بعض الشيءوتستغرق البيانات الصادرة عن هذا المصدر وقتاً حتى تصل إلى نظام التسجيل مقارنة بالمصادر الأخرى

الجيوفونات Geophones



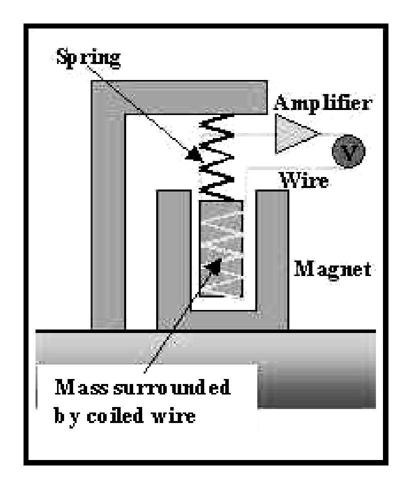
وتوضح الصورة السابقة أحد أنواع الجيوفونات وكما تلاحظون فهو مزود بمسمار صغير لتثبيت الجيوفون في الأرض.

وهذه أنواع أخرى من الجيوفونات:

ولو تلاحظوا أنه هناك نوع من غير مسمار التثبيت وهذا مخصص للأسطح الصلبة.

لكن ماهو مبدأ عمل هذه الجيوفونات .. ؟

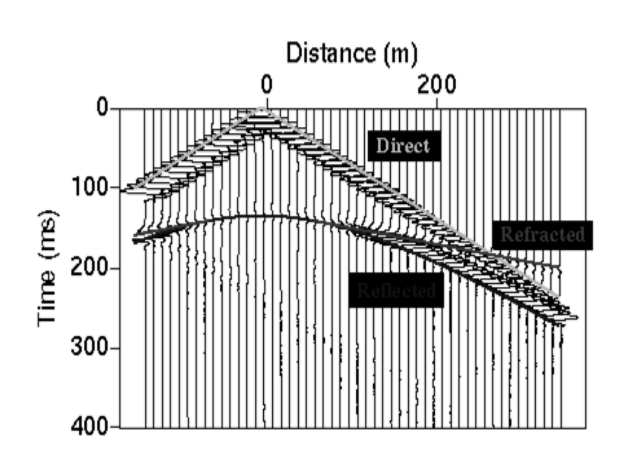
في الواقع إن فكرة عمل الجيوفون جداً بسيطة ..(لاحظوا الصورة التالية)



وبتدقيق النظر في الشكل السابق سنجد أن الجيوفون يتكون من كتلة مرنة قابلة للإهتزاز مع حركة الأرض واهتزازها .. ويحيط بهذه الكتلة سلك معدني. ويحيط بالكتلة والسلك مغناطيس صغير مولد للمجال المغناطيسي. وعند اهتزاز الكتلة يبدأ السلك بتقطيع خطوط المجال فيتولد فيه تيار كهربائي يسجله نظام التسجيل ..

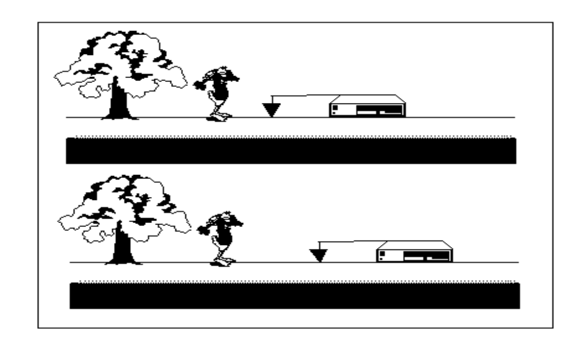
شكل البيانات اللي كنا بنستقبلهابواسطة الجيوفونات ..؟

كانت تظهر على الشكل التالي :



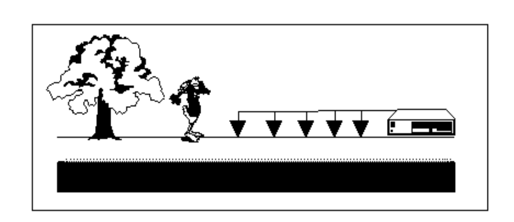
كل خط من هذه الخطوط الموجودة في الصورة السابقة يتم استقباله بواسطة جيوفون .

لكن هل يتم زرع الجيوفونات على النحو التالي :



لاحظوا أنه ثبت المصدر .. وغير مكان الجيوفونات في كل مرة ..

في الواقع يمكننا عمل التجربة السابقة على الصورة التالية ..



بدون الحاجة إلى استخدام جيوفون واحد وتغيير موقعه في كل مرة.

بل نستخدم مجموعة من الجيوفونات ونزرعها في نفس الوقت فتعطينا نفس البيانات .

نظام تسجيل البيانات السيزمية

Seismic Recording Systems

هذا النظام يقوم بتسجيل الإشارات الكهربائية التي تطلقها الجيوفونات ويتصل معها بواسطة أسلاك كهربائية كمافي الصورة التالية :



ونلاحظ في الصورة السابقة أن الأسلاك تربط الجيوفونات ببعضها ثم تتجه إلى سيارة الأبحاث التي تحمل نظام التسجيل .

ومن الممكن أنيتراوح عدد الجيوفونات بين 10 إلى 110 في المرة الواحدة وتكون المسافات بينها ثابتة.

مصادر التشويش:

وكما هو الحال مع جميع الطرقالجيوفيزيائية فإن هناك مصادر للتشويش تؤدي إلى تشويش البيانات السيزمية .

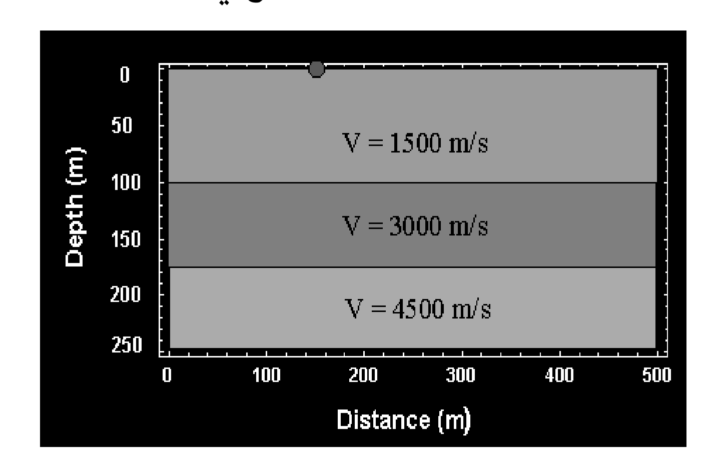
من هذه المصادر :

الحركات الأرضية الخارجة عن سيطرتنا مثل حركة النقل البري حتى تحريك الرياح لفروع الأشجار يؤدي إلى تشويش البيانات السيزمية .

التشويش الكهربائي : فكما نعلم أن الجيوفونات تستقبل الحركة الأرضية وتحولها إلى إشارات كهربائية فأي تشويش على هذه الإشارات الكهربائية يؤدي إلى التشويش على البيانات السيزمية.

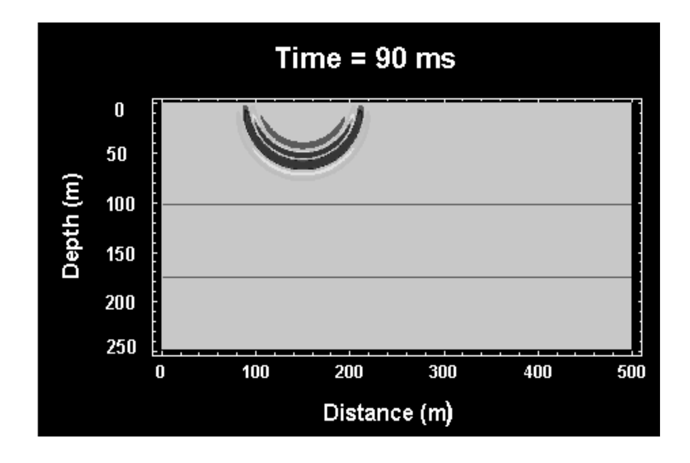
التشويش الجيولوجي : حيث أن التغيرفي طبوغرافية الطبقات يؤدي إلى التشويش على البيانات السيزمية مما يزيد من صعوبة تحليلها

لو كان لدينا ثلاث طبقات كما هو موضح في الصورة التالية ..

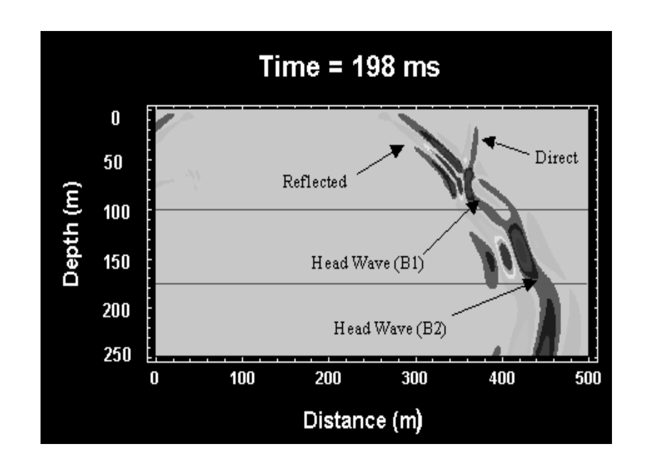


لاحظوا أن السرعة تزازد مع العمق.. فكيف ستتفاعل الموجات مع الأسطح الفاصلة بين الطبقات .. ؟

لاحظ في هذا العرض كيف ستنتشر الموجات من خلال هذه الطبقات:







نلاحظ مما سبق كيف ظهرت الموجات المباشرة **Direct wave** وانطلقت موازية لسطح الأرض ، و بذلك فهي ستستقبل أولاً وعلى مسافات قريبة من المصدر ..

أيضاً نلاحظ ظهور الموجات الرأسية عند الحد الفاصل بين الطبقة الأولى والثانية **B1** وصعودها على السطح لتستقبلها المستقبلات التي تقع على بعد متوسط من المصدر .

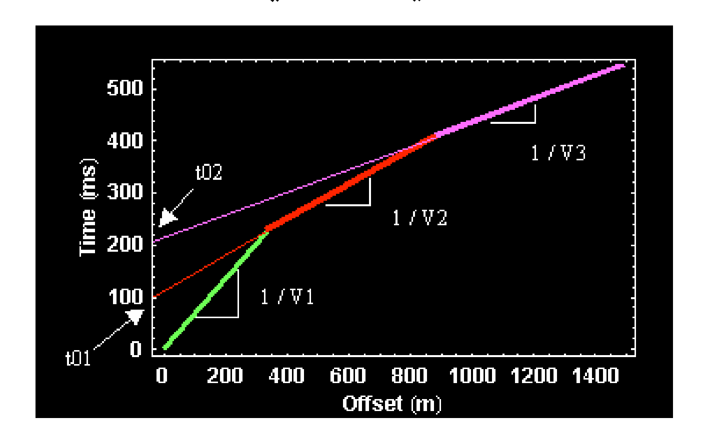
أما الموجات الرأسية التي نتجت عن تفاعل الموجات مع السطح الفاصلبين الطبقتين الثانية والثالثة **B2** فإن المستقبلات الأبعد عن المصدر ستستقبلها...

إذن استطعنا تحديد الـ **first arrivals** وحصره خلال الموجات الثلاث السابقة .

كيف سيكون شكل الـ **Travel Time Curves** لهذه الطبقات.. ؟

نأتي الآن لنعرف شكل الـ **Travel Time Curves** للنموذج الذي وضحناه في الرد السابق ،لثلاثة طبقات أفقية،وفيها تزداد السرعة مع العمق.

وسيظهر الـ **curve** كمافي الشكل التالي ..



وفيه يمثل الخط الأخضر وصول الموجات المباشر **direct arrival** والخط الأحمر يمثل الموجات الرأسية للطبقة الثانية .. والخط الوردي وصول الموجات الرأسية للطبقة الثالثة.

لاحظ أن الطبقة الثالثة تقع عند عمق 175 متر عن سطح الأرض .. لذلك فإننا سنستقبل أولى الموجات المنكسرة عن سطح هذه الطبقة على بعد 900 متر عن المصدر .. بمعنى أن المستقبلات الموجودة على بعد 900 متر من المصدر هي التي ستستقبل الموجات الرأسية للطبقة الثالثة.

وبصفة عامة ولكى تستقبل الموجات المنكسرة عن سطح طبقة ما موجودة عند عمق معين . فإنك ستستقبل الموجات المنكسرة عن هذا السطح عند مسافة تبعد عن المصدر بحوالي 3 - 5 أضعاف هذا العمق .

أيضاً ومن الشكل السابق ،، يمكننا حساب سرعة انتشار الموجات في كل طبقة منهذه الطبقات وذلك بحساب معكوس ميل كل خط من الخطوط الموضحة في الشكل .

كذلك يمكننا حساب عمق كلاً من سطحي الانكسار بإيجاد كلاً من t01 و t02 وسرعة جميع انتشار الموجات في جميع الطبقات..وذلك بواسطة القوانين التالية

$$D_1 = \frac{t_{01} V_2 V_1}{2\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

$$D_2 = \left[t_{02} - \frac{2D_1\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_3 V_1} \right] * \frac{V_3 V_2}{2\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} + D_1$$

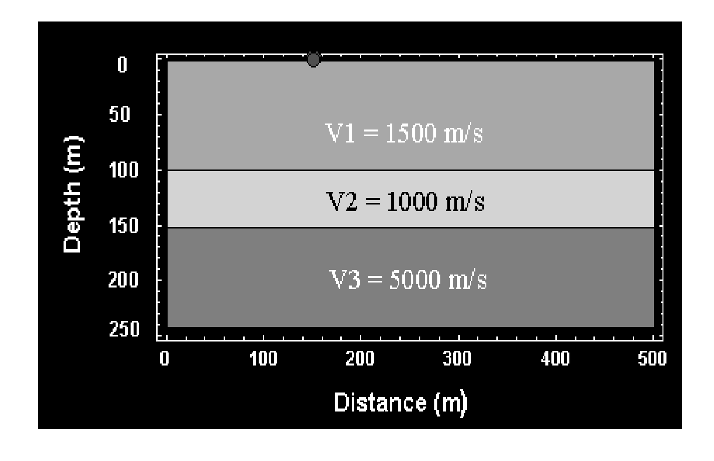
حيث أن D1 عمق سطح الانكسار الأول و D2 عمق سطح الانكسار الثاني.

لا حظ أنه كلما زاد عدد الخطوط في الـobserved travel time curve كلما دل ذلك على زيادة عدد الطبقات ونستطيع إيجاد سرعة انتشار الموجاتفي االطبقات بواسطة إيجاد ميول الخطوط بالإضافة إلى عمق أسطح الطبقات بإيجادt0 .

سؤال : هل يمكن أن تكن هناك مجموعة من الطبقات تحت سطح الأرض ولا نستطيع كشفهابواسطة المسح السيزمي ..؟

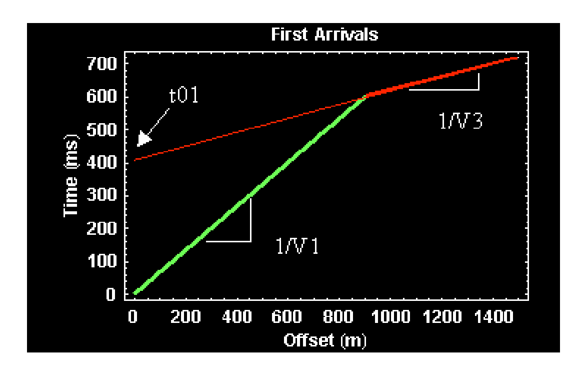
من الممكن أن توجد مجموعة منالطبقات تحت سطح الأرضولا نستطيع كشفها بواسطة المسح السيزمي ويطلق عليها اسمHidden Layers وهناك احتمالين لجعل هذه الطبقات مخفية.

الاحتمال الأول : وجود طبقة منخفشة السرعة ضمن طبقتين أعلى منها في السرعة كما في الشكل التالي ..



وبسبب وجود هذه الطبقة المنخفضة السرعة فإن السطح الفاصل بين الطبقة الأولى والثانية لا تنتج عنه موجات رأسية Head wave لنستقبلها على السطح .. فتتابع الموجات انتشارها حتى تصل إلى الحد الفاصل بين الطبقتين الثانية والثالثة ..وبما أن سرعة الطبقة الثالثة أعلى من سرعة الطبقة الأولى فعندها ستظهر لدينا الموجات الرأسية صاعدة إلينا على السطح كاشفة عن وجود الطبقة الثالثة..

وسيظهر الـ first arrival travel-time curve كما في الشكل التالي .



لاحظ أنه يوجد لدينا ثلاثة طبقات .. والـ curve أوجدلدينا طبقتين.. وإذا استخدمنا ما تعلمناه سابقاً سنوجد سرعة الطبقة الأولى 1500 م / ثانية وذلك بحساب ميل الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرةdirect arrival وسنجد أيضاً ان سرعة الطبقة الثانية 5000 م / ثانية بإيجاد ميل الخط الأحمر .. وبإيجاد قيمة t01 من ال curve وبحساب سمك الطبقة الأولى بواسطة القوانين التالية كما تعلمنا سابقاً.

$$h = \frac{t_o V_2 V_1}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}$$

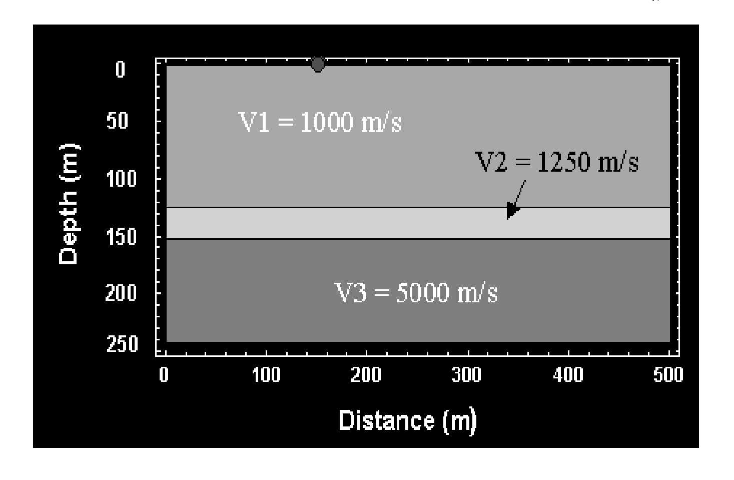
or

$$h = \frac{x_c}{2}\left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}\right)^{1/2}$$

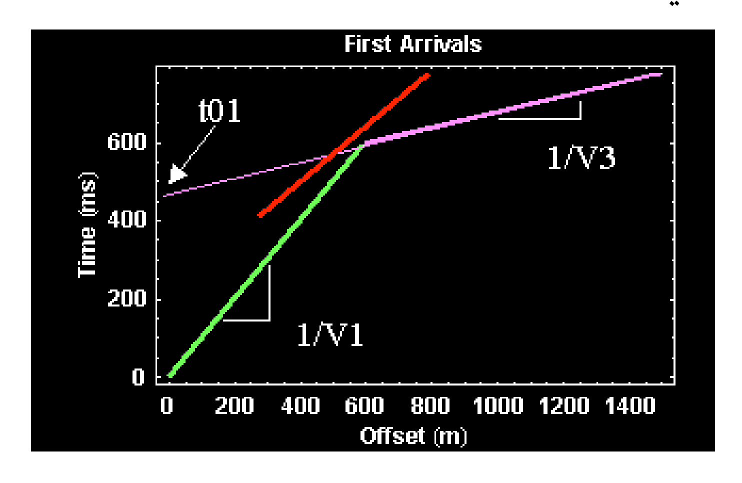
فسنجد أن سمك الطبقة الأولى 314 متر .

الاحتمال الثاني: لاختفاء طبقات موجودة تحت سطح الأرض .

وجود طبقة عالية السرعة إلا أنها رقيقة جداً (ذات سمك بسيط) كما في الشكل التالي .

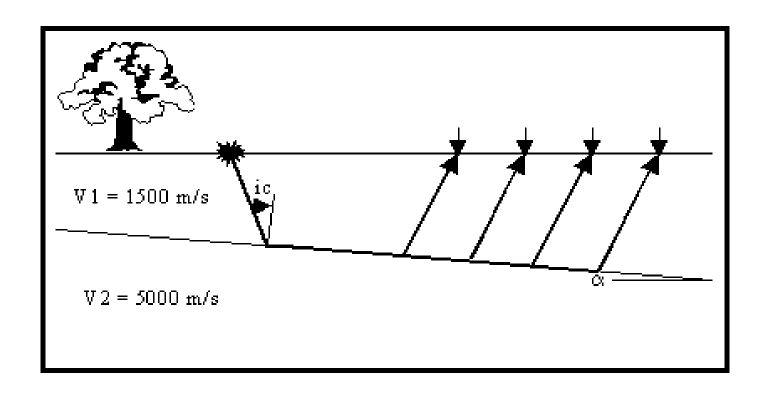


في هذا الشكل نلاحظ وجود طبقة رقيقة تعتلي الـ halfspace (الطبقة الثالثة) وسرعة هذه الطبقة أعلى من جميع الطبقات التي تعتليها ... وبعكس المثال السابق فإن الموجات الرأسية Head wave ستظهر عند كلاً من السطحين الفاصلين بين الطبقات ..لكن الموجات الرأسية الصادرة عن الطبقة الأقل سمكاً لن تصل إلينا إلى السطح أولاً وذلك لبساطة سمك الطبقة وانخفا ضسرعتها نسبة إلى الطبقة الثالثة .. فحتى تصل الموجات الرأسية الصادرة عن السطح الفاصل بين الطبقتين الأولى والثانية تكون الموجات الرأسية الصادرة عن السطحالفاصل بين الطبقتين الثانية والثالثة قد انطلقت وتجاوزت الموجات الرأسية الصادرةعن السطح الأول بسرعتها العالية لنستقبلها على السطح أولاً وبذلك سيظهر الـfirst arrival travel-time curve كما في الشكل التالي ..

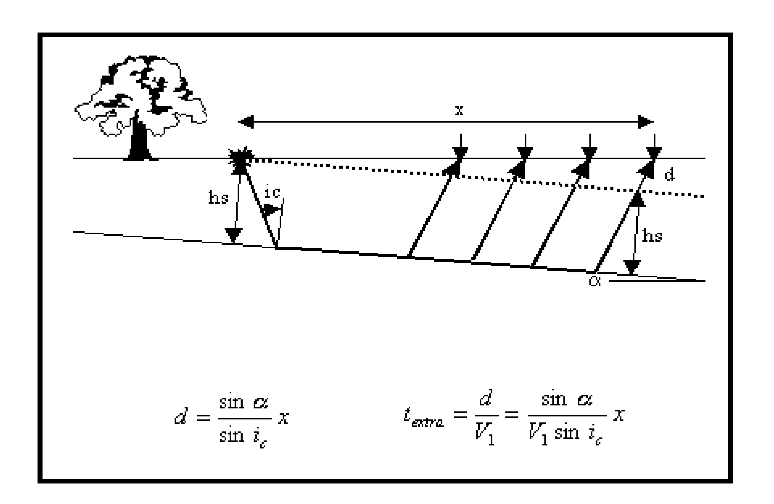


ويمثل الخط الأحمر في الشكل السابق الموجات الرأسية الصادرةعن السطح الفاصل بين الطبقتين الأولى والثانية .. وكما نلاحظ فإنه لا يمكن اعتباره من أولى الموجات وصولاً لذلك لا يمكننا حسابه .. وبحساب سرعة الطبقات الظاهرة لدينا بحساب ميول الخطوط الممثلة للوصول الأول للموجات وبحساب سمك الطبقة الأولى أو بالأصح عمق السطح الفاصل بين الطبقين الأولى والثانية سنصل إلى نتنيجة غير صحيحة بسبب اختفاء الطبقة الثانية عن ملاحظتنا .. . لا حظ أنه وفي كلتا الحالتين السابقتين لا يمكننا معرفة وجود الطبقات المخفية حيث أنها لاتظهر لدينا في الـ **travel-time curve** ،، ولا نستطيع الوصول إليها إلا بواسطة عمليات الحفر..

ماذا لو كان السطح الفاصل بين الطبقات سطح مائل ...؟ فنحن نعلم أن هناك احتمالية بأن تكون الطبقات مائلة وبالتاليتكون الأسطح الفاصلة بين الطبقات عبارة عن اسطح ما ئلة ... فكيف ستؤثر هذهالأسطح على ملاحظاتنا الانكسارية **refraction observations**..؟ لاحظ الشكل التالي :



هنا يوجد لدينا halfspace عالي السرعة تحت طبقة منخفضة السرعة ... والسطح الفاصل بين الـ halfspace والطبقة عبارةعن سطح مائل ، واتجاه الميل من اليسار إلى اليمين .. لاحظ أنه وفي هذا المثال وضعنا المصدر على يسار الشكل أي فوق الجزء الأعلى من الميل .. وكما أخذنا في الأمثلة السابقة ، فإنه ومع زيادة السرعة مع العمق ستتولد لدينا الموجات الرأسيةعند الحد الفاصل بين الطبقتين بمرورها من خلال الطبقة الثانية ثم عودتها إلى الطبقة الأولى واستقبالها على السطح... في الشكل التالي وضحنا خطوط الـ Raypaths الممثلة للموجات الرأسيةHead wave بأربعة خطوط حمراء



تخيل لو أننا زرعنا الجيوفونات تحت سطح الأرض من المصدربموازة السطح المائل (كما هو موضح بالخط الأسود المتقطع) فإن البيانات التي سنستقبلها من هذه الجيوفونات ستظهر كما لو كان السطح الفاصل أفقي أو مستوي غير مائل **flat boundary** لذلك فإن أوقات الوصول للموجات الرأسية من المصدر وحتى الخط الأسود المتقطع سيمثل وقت وصول الموجات الرأسية كما لو كان **boundary** أفقياً .. وبما أننا لا نستطيع وضع الجيوفونات في باطن الأرض عند الخط المتقطع فإنها ستضطر لقطع مسافة زائدة (ممثلة بالخط الأزرق) حتى تصل إلينا على السطح .

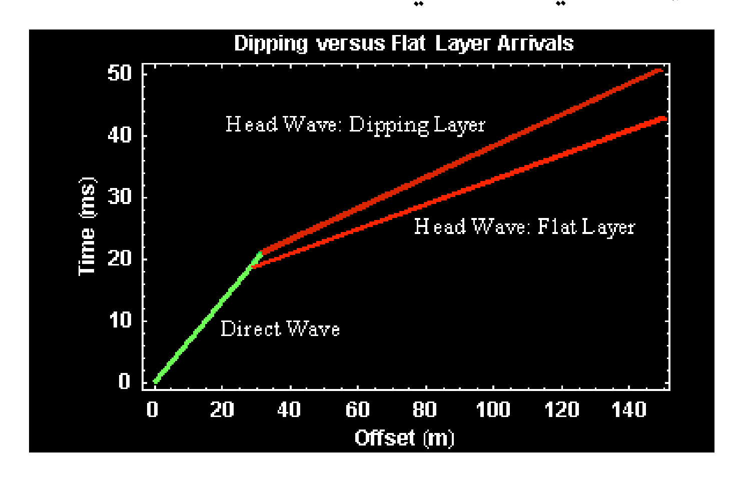
لاحظ أيضاً أن المسافة (بين المصدر والجيوفون) التي نستقبل عندها الموجات الرأسية على سطح الأرض ستختلف

إذا كان السطح الفاصل بين الطبقات عبارة عن سطح مائل عنه مما إذا كان السطح أفقي. لذلك وعند مقارنتنا بين زمن وصول الموجات الرأسية عندما يكون الـ boundaryأفقياً بزمن وصول الموجات الرأسية عندما يكون boundary مائل فإننا سنجد أن الموجات الرأسية الصادرة عن الـ boundary ستصل متأخرة بعض الشيء بالإضافة إلى كونها أبعد في الـ.. offset

إذن هناك فرق في الزمن بين وصول الموجات الرأسية من الـ boundary المائل إلى سطح الأرض والـ boundary الأفقي إلى السطح .. ويمكننا حساب هذا الفرق * في الزمن عند كل جيوفون بمعرفة عمق الطبق α ، والمسافة بين الجيوفون والمصدر x ، ومقدار الزيادة في الـraypath ورمزنا له بالرمز d وبقسمة هذه المسافة على السرعة V1ستعطينا مقدارالزيادة في مدة رحلة الموجات الرأسية .. والمعادلة موجودة في الشكل الموضح بالأعلى .. لاحظ أن الفرق في مدة الرحلة يزداد مع زيادة المسافة بين الجيوفون والمصدر ..

فمثلاً لو حسبنا الفرق عند الجيوفون الأول فكانت القيمة س مثلاً فإن هذه القيمة ستزداد عند انتقالنا للجيوفون الثاني الأبعد عن الجيوفون الأول من المصدر .. لذلك يمكننا أن نتوقع أن الـ **travel-time curve** للسطح المائلسيكون عبارة عن خط مستقيم .

وسيظهر كما في الشكل التالي ..



نلاحظ أن الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرة لم يتأثربميل السطح الفاصل .. ويمثل الخط الأحمر الداكن الموجات الرأسية الصادرة عن السطح المائل ، ويمثل الخط الأحمر الفاتح الموجات الرأسية التي ستصل إلى الخط المتقطع.. وكما ذكرنا سابقاً لاحظ زيادة المسافة offset مع زيادة الزمن أو بالأصح الفرق في الزمن بين الموجتين .. ومما سبق نلاحظ التالي.

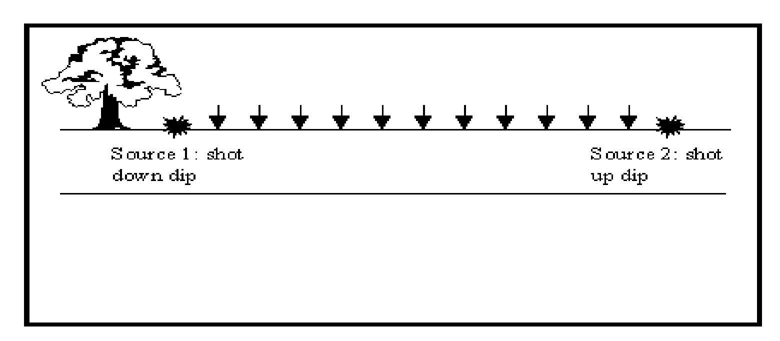
أننا لا نستطيع أن نلاحظ ميل السطح الفاصل بين الطبقات من خلال شكل الـ-travel time curveحيث لاحظنا مدى شبهه بشكل الـcurve ما إذا كان السطح أفقي

أنه يمكننا حساب سرعة الطبقة الأولى بحساب ميل الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرة.

وإذا أردنا حساب سرعة الطبقة الثانية بحساب ميل الخط الممثل للموجات الرأسية فستنجد أن السرعة منخفضة بعض الشيء ، بالإضافة إلى ذلك إذا استخدمنا هذه السرعة لحساب عمق السطح الفاصل فإننا سنحسب العمق تحت المستقبلات في حين أنه يختلف عن العمق تحت المصدر..

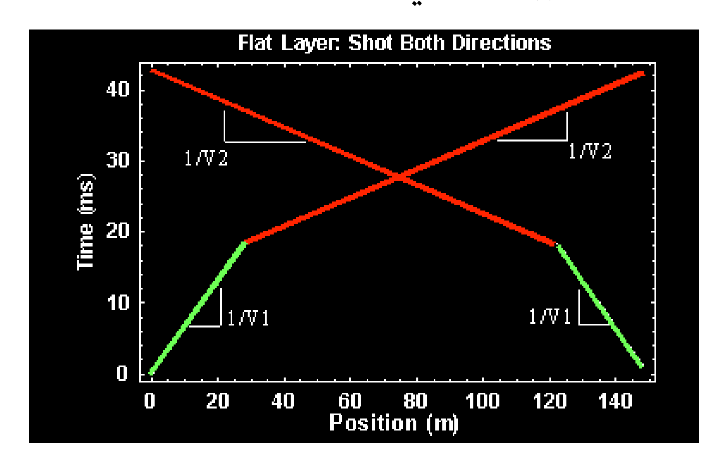
شاهدنا في الردود السابقة كيف أن الملاحظات الانكسارية لا تعطينا فكرة عن كونالطبقات مائلة أو مستوية .. فكيف يمكننا حل هذه المشكلة حتى نستطيع الكشفعن وجود الطبقات المائلة .. ؟

تخيل لو كانت الطبقات أفقية كما في الشكل التالي ..

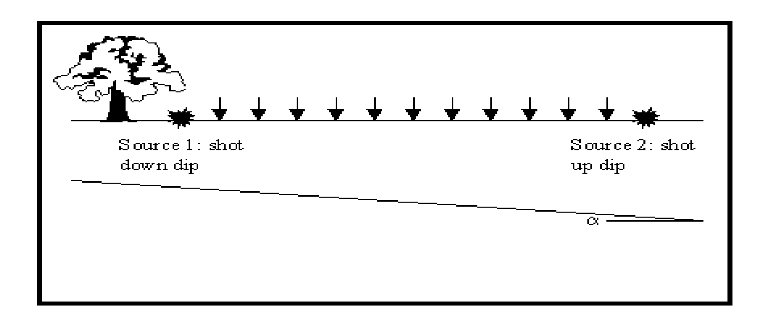


ووضعنا مجموعة من الجيوفونات في خط مستقيم كما هو موضح في الرسم بالأسهم السوداء ... بعد ذلك وضعنا المصدر على يسار الجيوفونات وقمنا بأخذ البيانات .. ثم نقلنا المصدر إلى يمين الجيوفونات وسجلنا البيانات.. وعند مقارنتنا للبيانات المسجلة عن يمين ويسار المستقبلات ، فكيف تتوقع أن يكون شكلها.. ؟

بما أن الطبقة أفقية .. والمسافات بين المصدرين والجيوفونات متساوية .. فنتوقع أن يكون شكل البيانات كالتالي ..



لاحظ كيف ظهرت البيانات متشابهة لكون الطبقة أفقية وبالتالي فإن عمق السطح الفاصل بين الطبقتين ثابت في جميع النقاط .. ماذا لو قمنا تطبيق التجربة السابقة على أسطح مائلة كما في الشكل التالي ..

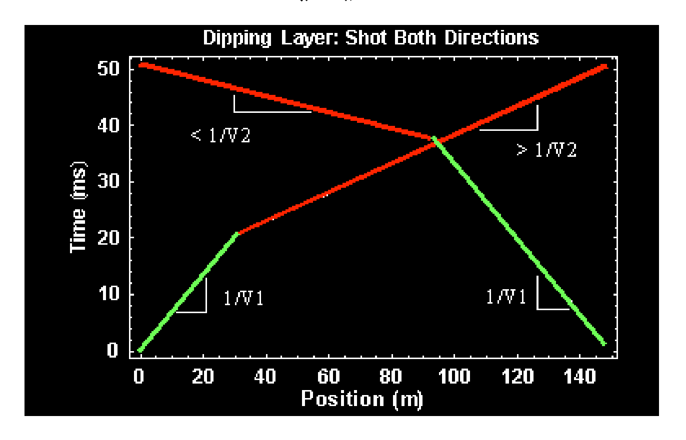


تذكر أنه وعندما يكون المصدر على يمين المستقبلات فإنه وإذا أردنا حساب سرعة الطبقة الثانية بحساب ميل الخط الممثل للموجات الرأسية فستنجد أن السرعة منخفضة بعض الشيء ، بالإضافة إلى ذلك إذا استخدمنا هذه السرعة لحساب عمق السطح الفاصل فإننا سنحسب العمق تحت المستقبلات فيحين أنه يختلف عن العمق تحت المصدر ..

وعندما يكون المصدر على يمين المستقبلات فإنه وإذا أردنا حساب سرعة الطبقة الثانية بحساب ميل الخط الممثل للموجات الرأسية فسنجد أن السرعة **too large** ، بالإضافة إلى ذلك إذا استخدمنا هذه السرعة لحساب عمق السطح الفاصل

فإننا سنحسب العمق تحت المستقبلات في حين أنه يختلف عن العمق تحت المصدر .. وبذلك سيكون العمق أصغر من العمق الحقيقي... hr

وسيظهر شكل البيانات كما في يلي ..



بذلك يمكننا معرفة ما إذا كانت الحدود الفاصلة بين الطبقات مائلة أو مستوية بوضع المصادر في اتجاهين فإذا ظهرت البيانات متماثلة فهذا يدل على أن الأسطح مستوية أما لو ظهرت مختلفة عن بعضها فهذا يدل على أن الحدود الفاصلة غيرمستوية..

الفصل الثاني
الاشعاعات الكهرطيسية و النووية

بنية الذرة:

تتميز ذرة أي عنصر بعددها الذري Z ، و الذي يساوي عدد الالكترونات أو البروتونات ، و بعددها الكتلي A ، و الذي يساوي عدد النيكليونات في النواة (بروتونات + نترونات) و الذي يقدر بالغرامات . و تعتبر الشحنة الإجمالية للذرة معدومة نتيجة لتساوي عدد الشحنات الموجبة و السالبة .و كما تشغل الذرة حيزاً صغيراً من مرتبة الأنغستروم (10 m -10 10) ، في حين تشغل النواة حيزاً أصغر بكثير من مرتبة 10– 15 m (1 Fermi = 10–15 m) .

هذا و قد اعتبر طومسون في بداية القرن العشرين بأن الذرة عبارة عن كتلة مصمتة تسبح فيها الالكترونات السالبة و البروتونات الموجبة بحيث تكون الذرة متعادلة كهربائياً .

و قد تم فشل هذا النموذج لعدم كفاءته في تفسير نتائج تشتت جسيماتα عن الذرة لريزرفورد و زملائه .

وعلى الرغم من نجاح نظرية ريزرفورد في إعطاء تفسيراً للتبعثر العكسي و استنتاج أبعاد الذرة و النواة ، إلا أنها لم تستطع تفسير استقرارية الذرة و كيفية ترتيب الالكترونات داخل الذرة ، وكما عجزت عن تفسير الطيف الذري .

و حسب نظرية رذرفورد فإن الالكترون الذي يتحرك على مداره يخضع لحركة متسارعة مما يؤدي لإشعاعه للطاقة و بالتالي يفقد الالكترون طاقته الحركية بشكل مستمر و بالنتيجة تناقص في الطاقة الحركية للالكترون مما يؤدي بالنتيجة لاقترابه من النواة ،

و يصبح مداره حلزونياً و بالنهاية يسقط الالكترون على النواة . و هذا ما يناقض الحقيقة التجريبية ، فالذرة تبقى مستقرة و تعطي طيفاً متقطعاً بدلاً من الطيف المستمر .

نظرية بور لذرة الهيدروجين :

صاغ بور في عام 1913 نظرية تمكنت من تفسير استقرارية الذرة ، و نجحت هذه النظرية بالتنبؤ الصحيح عن الطيوف الذرية المتقطعة . و تعتبر هذه النظرية مزيجاً من الفيزياء الكلاسيكية و فرضية بلانك الكمومية ، لذك تسمى النظرية النصف كلاسيكية .و قد نجحت هذه النظرية في تفسير طيف ذرة الهيدروجين ، لأنها بنيت على المسلمات الأساسية الثلاث التالية :

المسلمة الأولى :

يمكن أن يتحرك إلكترون في ذرة حول النواة على مدارات دائرية محددة دون أن يشع طاقة ، و تدعى هذه المدارات بالحالات المستقرة المتقطعة للذرة .

المسلمة الثانية :

إن الحالات المستقرة المسموحة توافق :

$$L = m V . r = n \hbar \quad (7\text{-}1)$$

L : عزم كمية الحركة الزاوي .

$$\eta = \frac{h}{2\pi}$$

h : ثابت بلانك

n = 1 ، 2 ، 3 ، 4 ، ... و يدعى بالعدد الكمي الرئيسي .

المسلمة الثالثة :

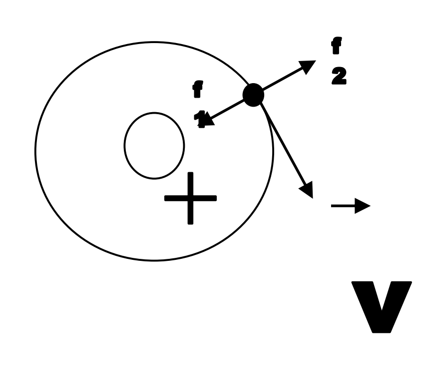
عندما يقفز (ينتقل) الكترون من حالة ابتدائية طاقتها Ef إلى حالة نهائية طاقتها Ei فإنه يصدر إشعاعاً كهرطيسياً (فوتوناً) ، و يمكن أن نكتب :

$$E_i - E_f = h\,v \quad (7\text{-}2)$$

مستويات الطاقة في نموذج بور الذري :

بفرض أن الكتروناً مستقر في مدار دائري نصف قطره rn و يمتلك سرعة Vn فتكون قوة الجذب الكهربائية تساوي قوة الجذب المركزية النابذة، و يكون :

$$f_2 = m\frac{V^2}{r} = k\frac{e^2}{r_n^2} = f_1$$



لاحظ الشكل (7-1) .

و لكن من المسلمة الثانية لدينا :

m Vn rn = n ħ (7-3)

و بالتالي : الشكل(7-1)

$$V_n = \frac{n}{mr_n} \qquad (7-4)$$

وباستخدام العلاقتين الآخيرتين :

$$r_n = n^2 \frac{\eta}{kme^2} = n^2 r_1 \qquad (7-5)$$

حيث :... , n = 1 , 2 , 3 ، $r_1 = \frac{\eta}{kme^2}$

نصف قطر مدار بور الأول لذرة الهيدروجين .

و لو حسبنا قيمة نصف قطر بور الأول بتبديل قيمة الثوابت k , m , e , h لوجدنا أن :

r1 = 0,528 Å و هي توافق القيمة التجريبية .

و عليه فإن الالكترون حسب نظرية بور يوجد في المدارات التالية :

rn = r1 , 4r1 , 9r1 , ……

وباستخدام العلاقتين (7-5) و (7-4) نجد أن :

$$V_n = \frac{1}{n} \quad \frac{ke^2}{\eta} \quad = \frac{V_1}{n} \qquad (7-6)$$

حيث :

$$V_1 = \frac{ke^2}{\eta}$$

سرعة الالكترون في مدار بور الأول.

Vn : سرعة الألكترون في المدار n

إن الطاقة الكلية En للالكترون في المدار (n)، تساوي مجموع الطاقة الحركية و الطاقة الكامنة ، أي أن :

$$En = \frac{1}{2} mV_n^2 + \left(-k \frac{e^2}{r_n} \right) \qquad (7-7)$$

و بتعويض (2) ، (3) في (5) فنجد :

$$En = \frac{-k^2 e^4 m}{2n^2 \eta^2} \qquad (7-8)$$

أو:

$$En = -\frac{1}{n^2} \left(\frac{k^2 e^4 m}{2\eta^2} \right) \qquad (7-9)$$

$$En = \frac{E_1}{n^2} \qquad (7-10)$$

حيث :

$$E_1 = \left(-\frac{k^2 e^4 m}{2\eta^2} \right) = 13.58\ eV$$

حيث :

إن E1 تمثل طاقة الالكترون في مدار بور الأول لذرة الهيدروجين وهي تمثل طاقة الارتباط .

فمن أجل n = 1: فإن : E1 = - 13,58 eV

و هكذا يمكن أن نكتب سويات الطاقة المسموحة لذرة الهيدروجين بالعلاقة التالية En = - E1 , ,……-E1/4:

طيف ذرة الهيدروجين :

باستخدامنا المسلمة III يمكن أن نحسب طاقات و ترددات الإنتقالات المحتملة ، فإذا كان إلكترون في الحالة الابتدائية ذات سوية الطاقة المثارة Ei و انتقل إلى حالة نهائية ذات سوية طاقة Ef فإن طاقة الفوتون الصادر تعطى بالعلاقة التالية :

(7-11)h V = Ei_ Ef

و من المعادلة (9َ-7) لدينا :

$$E_i = -\frac{E_1}{n_i^{\ 2}} \quad , E_f = -\frac{E_1}{n_f^{\ 2}} \qquad (7-12)$$

حيث :
$$E_1 = \left(-\frac{k^2 e^4 m}{2\eta^2} \right)$$

و بالتبديل بالمعادلة (11-7) نجد أن :

$$\bar{v} = \frac{E_i}{h} - \frac{E_f}{h} = \frac{E_1}{h}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \qquad (7-13)$$

و باستخدام العلاقة ($v = \frac{c}{\lambda}$)

فإن العدد الموجي $\bar{v} = \frac{1}{\lambda}$ يعطى بالعلاقة التالية :

$$\bar{v} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \qquad (7-14)$$

حيث R ثابت رايدبرغ و يساوي :

$$R = \frac{E_1}{hc} = 109740 cm^{-1} = 1.0974 \times 10^{-3} \overset{0}{A}^{-1} \qquad (7-15)$$

بينما القيمة التجريبية تساوي : Rexp = (109677,576 + 0,012) cm-1

أي أنه يوجد تطابق بين التنبؤات النظرية و القياسات التجريبية ، كذلك المعادلة (3.2.1) تطابق معادلة رايدبرغ التجريبية من أجل سلسلة بالمر و الموضحة بالمعادلة :

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \qquad (7-16)$$

وذلك بعد تعويض nf = 2 و ni = n و كذلك بتعويض ni = 3,4,5,6,... نحصل على خطوط سلسلة بالمر الطيفية عندما يقفز الإلكترون إلى الحالة النهائية الموافقة لـ nf = 2 .

ومن ناحية أخرى فيمكن إثارة الذرة بعدد من الطرائق ، منها I الإثارة الحرارية أو الإنفراغ الكهربائي للغاز حيث ينتقل الإلكترون إلى الحالات المثارة العليا .

و لأن فترة دوام الحالات المثارة قصيرة جداً من مرتبة 10-8sec ، فإنه عند عودة الإلكترون إلى حالات الطاقة الدنيا يصدر إشعاعاً كهرطيسياً أو فوتونات بترددات متقطعة .

لقد تنبأت نظرية بور بالإضافة إلى سلسلة بالمر بعدد من السلاسل الطيفية الموافقة لقيم مختلفة ل: nf ، و هذه السلاسل قد سميت بأسماء العلماء الذين اكتشفوها كما هو موضح بالشكل

(3-7) ، والذي يبين أن خطوط سلسلة بالمر فقط تقع في المجال المرئي .

و يبين الجدول (7-1) السلاسل الطيفية في مجالات الأشعة فوق بنفسجية و تحت الحمراء .

مما سبق نجد أن نظرية بور قد فسرت بنجاح طيف ذرة الهيدروجين

حد السلسلة	معادلة السلسلة	المجال الطيفي	السلسلة
911.27 A°	$\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2})$, n= 2,3,4,...	فوق بنفسجي	ليمان
3645.1 A°	$\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2})$,n = 3,4,5,6,...	مرئي	بالمر
8201.4 A°	$\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2})$, n = 4,5,6,7,...	تحت حمراء	باش
14580 A°	$\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2})$, n = 5,6,7,...	تحت حمراء	براكيت
22782 A°	$\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2})$, n = 6,7,8,...	تحت حمراء	بفوند

الجدول (1-7) : السلاسل الطيفية لذرة الهيدروجين

التفسير الفيزيائي للأعداد الكوانتية :

يوضح حل مسألة ذرة الهيدروجين و وصفها حسب قوانين ميكانيك الكم بأن حركة الإلكترون تحدد بثلاثة أعداد كوانتية

العدد الكمي الرئيسي n :

يحدد العدد الكمي الرئيسي n طاقة الالكترون في الذرة ، بينما يحدد العدد الكمي المداري ℓ قيمة عزم كمية الحركة الزاوي ، و يعين كل من ℓ و mℓ (العدد الكمي المغناطيسي) طويلة والاتجاه الفراغي لمتجهة عزم كمية الحركة الزاوي للإلكترون L في الذرة .

وتوافق كل مجموعة من القيم (n , ℓ , mℓ) حالة كوانتية معينة . وبالتالي تحدد التابع الموجي والتوزع الاحتمالي للإلكترون حول النواة .

يوضح الجدول (2-7) الحالات الممكنة لـ (n , ℓ, m ℓ) لذرة الهيدروجين ، حيث يوجد من أجل قيمة معينة لـ n ، n2 تابع خاص وكافة هذه الحلول لها الطاقة نفسها و ذلك لأن طاقة الحالة الكمومية تحدد بالعدد الكمي n في النظرية الكمية و نظرية بور .

و تعطى بالعلاقة التالية :

$$En=-\frac{1}{n^2}\left(\frac{\mu k^2 e^4}{2h^2}\right)=-\frac{E_1}{n^2} \qquad (7-17)$$

و نقول إن الطاقة متفسخة إذا وجد أكثر من تابع له الطاقة نفسها .

فمن أجل n = 2 يوجد أربع حالات و أربعة توابع موجية خاصة مختلفة، وتملك جميعها سوية الطاقة نفسها،كما في العلاقة (17-7)، ولذلك فمن أجل قيمة معينة لـ n فإن قيماً مختلفة لـ ℓ ، mℓ لها حالة الطاقة نفسها ، وتدعى هذه الحالات بالحالات المتفسخة .

و يمكن تفادي ظاهرة التفسخ عند تطبيق حقل مغناطيسي خارجي على الذرة ، وهكذا فإن كل حالة كوانتية (n , ℓ , mℓ) سوف تملك طاقة مختلفة .

عدد الحلول($n , \ell , m\ell$)من أجل قيمة معينة لـn يساوي (n^2) كل حل يدل عليه بالعداد الكوانتية ($n , \ell , m\ell$)	$m\ell$	ℓ	n
1 (1,0,0)	0	0	1
4 (2,0,0) (2,1,+1) , (2,1,0) , (2,1,-1)	0 -1 , 0 , +1	0 1	2

الجدول (2-7):يعطي عدد الحالات الممكنة لذرة الهيدروجين والذرات الهيدروجينية

العدد الكمي المداري ℓ :

حسب نظرية ميكانيك الكم نستنتج طويلة عزم كمية الحركة الزاوي للإلكترون في الذرة من معادلة شرودنغر القطرية (نظرية ميكانيك الكم) :

$$L = \sqrt{\ell(\ell+1)}\, h \quad (7\text{-}18)$$

وتختلف هذه القيمة عن القيمة المعطاة في نظرية بور $L = nh$.

فحسب نظرية ميكانيك الكم : تحدد قيمة L بالعدد الكمي ℓ و ليس بدلالة n ، ففي نظرية بور توجد قيمة وحيدة لـ L من أجل كل قيمة لـ n ، بينما يوجد في نظرية ميكانيك الكم n قيمة لـ L من أجل كل قيمة لـ n ، و توافق القيمة العظمى لـL العدد الكمي المداري ($\ell = n - 1$) و الموافقة لمدار بور الدائري .

تتم تسمية للحالات المختلفة لـ ℓ هي كما يلي :

ℓ	0	1	2	3	4
تسمية حالة الإلكترون	s	p	d	f	g
تسمية الحالة الذرية	S	P	D	F	G

فالحالة 1s تعني : $n = 1$ و $\ell = 0$ ، و الحالة 2p تعني $n = 2$ و $\ell = 1$

و كذلك الحالة 2s تعني $n = 2$ و $\ell = 0$، و الحالة 3d تعني :

$n = 3$ و $\ell = 2$ ، توافق الحالة 1s : $\ell = 0$ و بالتالي $L = 0$ ولا تتفق هذه النتيجة مع نظرية بور حيث لا يوجد مدار عزم كمية حركته الزاوي يساوي الصفر ($L = 0$) ، لأن هذا يعني أن مسار الإلكترون على شكل مستقيم يمر بالنواة ،

و لكن حسب ميكانيك الكم فالحالة الموافقة لـ 0L تعني أن توزع احتمال إيجاد الإلكترون في النواة يساوي الصفر .

العدد الكمي المغناطيسي mℓ :

تعطي مركبة Z لعزم كمية الحركة الزاوي للإلكترون في الذرة بالعلاقة التالية : Lz = mℓ ħ (7-19)

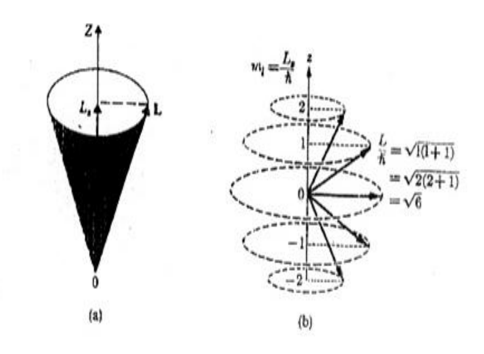
حيث تحدد توجه متجهة العزم الزاوي L في الفراغ ، أي تحدد التكميم الفراغي لعزم كمية الحركة الزاوي L

و تعطى الزاوية θ بين الشعاع L و المحور (منحى الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق على الذرة) بالعلاقة التالية :

$$\cos\theta = \frac{m_l \eta}{\sqrt{l(l+1)}\eta} = \frac{m_l}{\sqrt{l(l+1)}} \qquad (7-20)$$

و لأن mℓ يمكن أن تأخذ (1 + 2ℓ) قيمة فإن شعاع العزم الزاوي L يأخذ (1 +ℓ 2) زاوية دوران في الفراغ .أنظر الشكل (7-4).

أما حسب النظرية الكلاسيكية فيمكن أن تأخذ الزاوية θ أية قيمة في الفراغ.



الشكل (4-7)

و حسب نظرية بور ، لا يوجد أي قيد على الانتقالات من سويات طاقة مثارة إلى أخرى أدنى منها ، بينما في نظرية ميكانيك الكم فالانتقالات المسموحة هي فقط التي تحقق قانون الاختيار(الانتقاء) من أجل ℓ : ($\ell i_ \ell f = \Delta \ell = \pm 1$) ، بينما الانتقالات التي لا تحقق هذا القانون تكون محظورة (ممنوعة) .

النموذج الشعاعي للذرة :

وجدنا أثناء دراسة الطيوف الذرية أن الأعداد الكوانتية (n , ℓ , mℓ) غير كافية لتوضيح كافة الظواهر التجريبية الناتجة عن الانتقالات التي تشكل الطيف الذري و تفسيرها ، فمثلاً تم الاعتقاد أن عدد من الانتقالات المسموحة هي أحادية ـ مثل الإنتقال من 2p إلى 1s،

و لكن في الحقيقة ، بينت التجربة عن طريقة مشاهدة هذه الخطوط الطيفية بمطياف ذي قدرة تمييز عالية أنها مضاعفة ، أو بتعبير آخر ، هناك بنية ناعمة ، بالإضافة إلى ذلك لا يمكن إحصاء عدد الانتقالات التي يمكن مشاهدتها عندما توضع الذرات تحت تأثير حقل مغناطيسي خارجي Bext .قادت هذه الحقائق التجريبية كلاً من العلماء إهلنبك و غودسميث و بشكل مستقبل بتشوسكي وأوري إلى إعطاء الإلكترون عزماً زاوياً إضافياً ،ووفقاً لهذه النظرية يدور الإلكترون في أية حالة حول نفسه كما هو موضح بالشكل (7- 5 -a) ويملك عزماً زاوياً ذاتياً يدعى بعزم اللف الذاتي و يرمز له بـ S ، يضاف لعزم كمية الحركة الزاوي له L الناتج عن حركته حول النواة ، و شابه هذه الحركة تماماً حركة الأرض حول محورها و حول الشمس .

عزم اللف الذاتي للإلكترون S :

و لتفسير النتائج التجريبية للطيف الذري فإن طويلة شعاع عزم اللف الذاتي للإلكترون S تأخذ القيمة التالية :

حيث : S = 1/2 العدد الكمي للف الذاتي .

$$S = \sqrt{s(s+1)}\eta = \frac{\sqrt{3}}{2}\eta \qquad (7-21)$$

و بشكل مشابه لمتجهة العزم الزاوي L تكون متجهة عزم اللف الذاتي S مكممة في الفراغ و تأخذ مركبتها وفق المحور 0z القيم التالية :

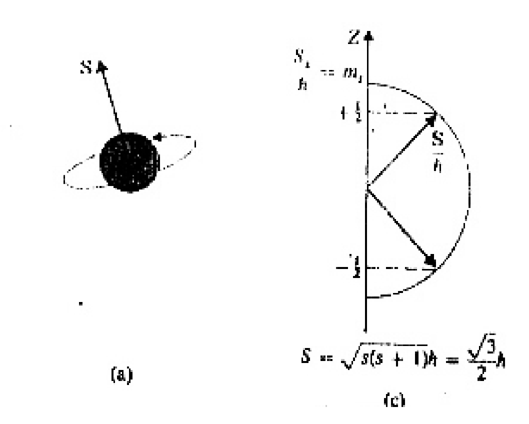
(7-22)SZ = ms ħ

حيث : ms=± 1/2 العدد الكمي للف المغناطيسي .

و يوضح الشكل (7-6) حسب الميكانيك الكوانتي تكميم المتجهة S الفراغي ، و من العلاقة المعرفة لـ S .

حيث طويلة ħ (s = s (s + 1 . S

لا يمكن للشعاع S أن ينطبق على المحور 0z (منحى الحقل المغناطيسي الخارجي) ، و إن تجربة ستيرن ـ غيرلاش برهان تجريبي لوجود عزم اللف الذاتي للإلكترون .



الشكل (7-5) : عزم اللف الذاتي للإلكترون

يلتف الإلكترون في الذرة حول نفسه و يملك عزم لف ذاتي S .

شعاع عزم اللف الذاتي S المكمم فراغياً وفق اتجاهين متناظرين مكممين بالنسبة لمنحى الحقل المغناطيسي .

العزم الزاوي الكلي J :

يعرف العزم الزاوي الكلي للإلكترون J بأنه مجموع العزم الزاوي المداري L و عزم اللف الذاتي للإلكترون و يساوي :

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \qquad (7-23)$$

و تعطى طويلته بالعلاقة التالية :

$$|J| = \sqrt{J(J+1)}\hbar \qquad (7-24)$$

حيث : J : العدد الكمي للعزم الزاوي الكلي (العدد الكمي الكلي) .

و لأن كلاً من L و S مكممان في الفراغ ، فمن الطبيعي أن يكون الشعاع J مكمماً في الفراغ أيضاَ و يأخذ قيماً محددة و مكممة .

و يضاف الشعاع S إلى الشعاع L إما بشكل موازٍ و مسايرأو معاكس له ، و هكذا نحصل على قيمتين لـ j :

$$j = \ell + \frac{1}{2}$$

$$j = \ell - \frac{1}{2}$$

وعند وضع الذرة تحت تأثير حقل مغناطيسي خارجي ، يدور الشعاع J حول المحور 0z (منحى الحقل المغناطيسي الخارجي) .

و تتطلب قوانين تكميم الفراغ دوران الشعاع J حول المحور (0z) وفق زوايا مكممة كما هو موضح بالشكل (7-7) .

و تعطى قيم JZ وفق المحور 0z بالعلاقة التالية :

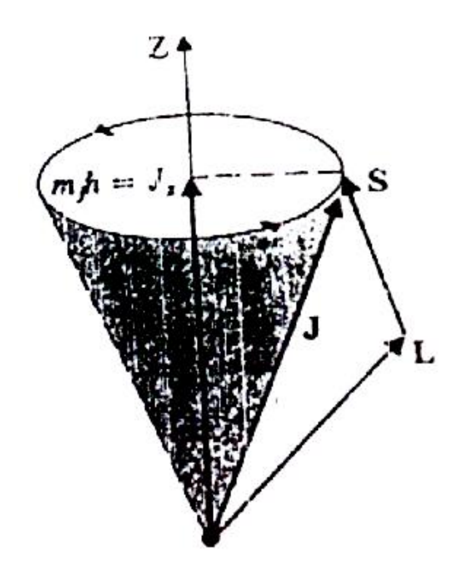
$$JZ = mj\,\hbar \quad (7\text{-}25)$$

حيث :

JZ : مسقط على المحور و تأخذ mj (2j + 1) قيمة تعطى بالعلاقة التالية :

mj = 0 , ± 1 , ± 2 , … , ± (j – 1) , ± j و تعطى التوجهات الفراغية للشعاع J التي هي الزوايا الممكنة بين JZ و J بالعلاقة التالية :

$$COS\varphi = \frac{j_Z}{j} = \frac{m_j \eta}{\sqrt{j(j+1)}\eta} = \frac{m_j}{\sqrt{j(j+1)}} \qquad (7-26)$$



الشكل (7-7) :

يمثل التكميم الفراغي للشعاع J و التوجهات الممكنة لـ J التي تحقق العلاقة :

$$J_Z = m_j \hbar$$

البنية الدقيقة (الناعمة) لذرة الهيدروجين :

توصف الحالة الأرضية لذرة الهيدروجين بدلالة الأعداد الكوانتية التالية :

(n = 1 , ℓ = 0 , s = ___ , j = ___

و يعبر عن هذه الحالة حسب التسمية الطيفية بالشكل التالي 1S1/2 حيث يشير العدد على يسار الحرف إلى قيمة العدد الكمي الرئيسي n ، ويعبر الحرف عن قيمةℓ، بينما يدل العدد الواقع يمين الحرف على قيمة j .

و فيما يلي نعرض قوانين الاختيار التي وفقها تم الانتقالات المسموحة :

يجب أن تتغير ℓ بمقدار واحد فقط ، أي أن :

$$\ell i - \ell f = \Delta \ell = \pm 1$$

لا يوجد أي تغيير في قيمة s ، أي أن :

$$si - sf = \Delta s = 0$$

يجب أن تتغير j بالمقدار 0 أو 1 ، أي أن :

$$j i - j f = \Delta j = 0 , \pm 1$$

(الانتقال j f=0 → ji =0 غير مسموح) .

ولا يوجد أي قيد في n .

مبدأ الاستبعاد لباولي والترتيب الالكتروني :

لقد نجحت معادلة شرودنغر الموجية في إعطاء حلول صحيحة لذرتي الهيدروجين (Z = 1) و الهيليوم (Z = 2) ، غير أن حلها بالنسبة للذرات الأخرى غير ممكن بسبب الصعوبات الرياضية ، لذلك استخدمت الطرق التقريبية لحلها و التنبؤ بشكل تقريبي بالطيوف الذرية .

لم يضع الميكانيك الكوانتي أي قيد على عدد الإلكترونات التي تشغل حالة كوانتية محددة .

إلا أن العالم باولي قد تناول هذا الموضوع بالاستناد على المشاهدات التجريبية ، مبيناً أن كل حالة كوانتية لا يمكن أن تشغل بأكثر من إلكترون وحيد و صاغ مبدأه في الاستبعاد كما يلي :

في أية ذرة لا يمكن لإلكترونين أن يوجدا في الحالة الكوانتية نفسها ، و هذا يعني : في أية ذرة لا يمكن لإلكترونين أن يملكا نفس قيم مجموعة الأعداد الكوانتية (n , ℓ , mℓ , ms) أو (n , ℓ , mj , j) .

و بناءً عليه ، تملك الإلكترونات في الذرة حالات كوانتية مختلفة ، و تشكل الإلكترونات ذات العدد الكمي الرئيسي n طبقة رئيسية يرتبط اسمها بـ n كما يلي :

العدد الكمي الرئيسي n : 1	2	3	4
اسم الطبقة :K	L	M	N

و من أجل قيمة معينة لـ n يساوي العدد الكلي للحالات الكوانتية $N_t = 2n^2$ و تمتلء الطبقات كما يلي :

1S2 2S2 2P6 3S2 3P6 4S2 3d10 4P6 5S2 4d10 …

تصنيف الإشعاعات :

يمكن تصنيف الإشعاعات :

حسب طبيعتها : و عندئذ يمكن أن نفرق بين :

الإشعاعات الكهرطيسية (الكهربائية المغناطيسية) والإشعاعات الجسيمية

حسب تأثيرها على المادة ، وخاصة على الأنسجة الحيوية .

وهنا نميز نوعين من الإشعاعات هما: الإشعاعات المؤيِّنة و الإشعاعات اللامؤيِّنة

الإشعاعات الكهرطيسية (المظهر الموجي) :

و هي تصدر عن المادة نتيجة اهتزاز الألكترونات الذرية الداخلية في تركيبها .

و المظهر الموجي يمثل الإشعاع بموجة كهرطيسية تنتشر في الخلاء وفق خط مستقيم و بسرعة C = 3.108 m / sec (أي ثلاثمائة ألف كيلو متر في الثانية) .

و تتميز هذه الموجة المؤلفة من اهتزازين (أحداهما يمثل الحقل المغناطيسي و الآخر تمثل الحقل الكهربائي) ،وذلك بطول موجيλ و بتواتر V (و هو يمثل مقلوب الدور T) بحيث :

$$\lambda = \frac{C}{v} \quad (7\text{-}28)$$

و كذلك بعدد موجي K و هو يمثل $\frac{1}{\lambda}$ و كذلك بنبض $\omega = 2\pi v$ (التواتر الزاوي) . وكما يتميز هذا الإشعاع بشدته التي تتناسب مع مربع السعة الاهتزازية .

و يسمح هذا التمثيل بتفسير ظواهر الانتشار دون حدوث تبادل للطاقة بين الإشعاع و المادة (كالانعكاس أو الإنكسار أو التداخل أو الإنعراج) .

المظهر الجسيمي للأمواج الكهرطيسية :

افترض العالم بلانك Planck في عام 1900 ، كي يفسر أطياف إشعاع الجسم الأسود ، بأن الضوء ظاهرة كمومية.أي أن الإشعاع الكهرطيسي يتألف من حبيبات ضوئية تدعى الفوتونات photons ، يحمل كل منهما رزمة من الطاقة تمثل بجسم يدعى الكم quantum .

و من أجل إشعاع تواتره (v (sec $^{-1}$ ، تعطى طاقة الكم الواحد بالعلاقة :

$E = h\,v$ (Joul)

h : يمثل ثابت بلانك و قيمته في الجملة الدولية

$6,625 \times 10^{-34}$ J.S

و يمكن أن نكتب أيضاً أن :

$$E = h\frac{C}{\lambda} \qquad (7-29)$$

و إذا عبرنا عن طاقة الفوتون بالالكترون فولط ev ، حيث :

1 ev = 1,6 ×10 -19 Joul

فنكتب :

$$E(eV) = \frac{12400}{\lambda \ (\overset{0}{A})}$$

ندعو العلاقة الأخيرة بعلاقة دْوان وهنت .

و في عام 1905 اكتشف اينشتاين Einstein المفعول الكهرضوئي photoelectric ، و الذي لا يمكن أن يتم فهمه إلا إذا سلمنا بالمظهر الجسيمي للضوء ، أي أن الضوء يسلك سلوك جسيم محمل بالطاقة ، فيحرر الإلكترون المحتجز في المعدن .

و يحمل قذف الإلكترونات للمصعد في أنبوب مهبطي ، البرهان على عكوسية هذا المفعول(مبدأ توليد رونتجن Rontgen للأشعة السينية عام 1895).

الطبيعة المثنوية للجسيمات المادية (الطابع الموجي الجسيمي) و فرضية دي بروي:

لقد قام كل من العالمين شادويك Chadwick و ريزرفورد Rutherford بإثبات المظهر الجسيمي لمكونات الذرة (الكترون ، بروتون، نترون) .

يمكن أن يرافق هذه الجسيمات المادية ، التي تتميز بكتلة سكونية مختلفة عن الصفر ، تمثيل موجي تطور مع ظهور ميكانيك الكم لكل من شرودينفر و هايزمبرغ (Heisenberg + Schrodinger) .

و يعطى الاندفاع P أو كمية الحركة (impulsion) المرافق لجسيم نسبوي كتلته السكونية m0 بالعلاقة : P = mV

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}} \qquad (31-7)$$

حيث:

m0: الكتلة السكونية

V: سرعة الجسيم

C : سرعة الضوء

و تعطى الطاقة الكلية لجسيم حسب علاقة اينشتاين :

E = mc 2

و من العلاقة السابقة نجد :

m 2 c 2_ m 2 V2 = m02 c 2

و بشكل آخر :

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

و في حالة فوتون تواتره (γ) تصبح الكتلة السكونية معدومة و منه نكتب :

$$E = PC$$

ومنه نجد :

$$P = \frac{h}{\lambda} \qquad (7\text{-}32)$$

و هذه العلاقة تدعى بعلاقة دي بروي .

و يمكن تطبيق العلاقة الأخيرة على كل جسيم كتلته النسبية m و يتحرك بسرعة

و يتميز بطول موجي λ**:**

$$\lambda = \frac{h}{m V}$$

هذا و قد تم إثبات إمكانية انعراج حزمة من الالكترونات المسرعة لدى صدمها لصفيحة معدنية كما تنعرج أي موجة ضوئية في البلورات ، حيث يمكن من خلال هذه الدراسة معرفة الأبعاد الشبكية للبلورة المدروسة .

واحدة الطاقة الإشعاعية الالكترون فولت (eV) :

يستخدم الالكترون فولت كواحدة لقياس طاقة الجسيم في الفيزياء الذرية والنووية، حيث يبدو من الصعب التعبيرعنها بالجول أو الارغة erg.

ففي مكثفة مستوية البعد بين لبوسيها و تخضع لفرق في الكمون V (فولت) ، يكون الحقل الكهربائي الناشئ بين لبوسيها :

$$E = \frac{V}{d} \quad \textbf{(7-33)}$$

فبفرض أن الكتروناً (-e) على تماس مع أحد اللبوسين ، فإنه ينجذب إلى اللبوس الآخر

بقوة قيمتها F: (7-34)

$$F = e.E = e\frac{V}{d}$$

و عندما يصل الالكترون للبوس الآخر فيكون قد اكتسب طاقة حركية تساوي إلى العمل الكهربائي المنجز W :

$$W = f\, d = e\frac{V}{d}\, d = eV = \frac{1}{2}\, mV^2$$

و منه :

$$eV = \frac{1}{2}\, mV^2 \quad \textbf{(7-35)}$$

فالالكترون فولط هو الطاقة الحركية التي يكتسبها الكترون مسرّع في حقل كهربائي يولده فرق الكمون قدره فولط واحد .و يستخدم الالكترون فولت (eV) للتعبير عن الطاقة التي يحملها الإشعاع الكهرطيسي رغم تجرده من الكتلة و الشحنة .

و نجد بسهولة من العلاقة : $\lambda = \frac{hC}{E}$

أن الفوتونات ذات الطاقات 1 eV و 1 keV و 1 MeV لها الأطوال الموجية التالية على الترتيب $1,24\ \mu m$ (منطقة الشعة تحت الحمراء) ، $12,4\ A^{\circ}$ (منطقة أشعة X) و0.0124A (منطقة أشعة γ) .

الإشعاعات المؤينة و اللامؤينة :

تختلف الإشعاعات من حيث تأثيرها على المادة ، و هذا أمر يهم البيولوجي ، فهناك إشعاعات مؤينة تكون طاقتها كافية لانتزاع الكترون من بنية جزيئة بيولوجية .و تعطى طاقة التأين بالعلاقة :

$$U = E_{\infty} - E_i \qquad (7-36)$$

حيث:

U : طاقة التأين

E i : طاقة الالكترون في مداره .

E_∞ : طاقة الالكترون في اللانهاية .

أما الإشعاعات التي لا تستطيع أن تفعل ذلك فتسمى لا مؤينة .

إن طاقة التأين الخاصة بأهم الذرات بيولوجياً هي :

N : 14,24 eV ، O : 13,57 eV ، H : 13,58 eV ، C : 11,24 eV

و نلاحظ أن هذه الطاقات لها مرتبة طاقة تأين الهيدروجين نفسها .

و لأن فوتونات الإشعاع فوق البنفسجي الأكثر فعالية (λ= 0,1 μ m) ذات طاقة تساوي :

12.4 eV=hv

أي من مرتبة طاقة تأين الهيدروجيننفسها .لذا فإننا نسمي إشعاعاً لا مؤين ، كل إشعاع كهرطيسي تقل طاقته عن 13,6 eV أي الأشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء و الأمواج الراديوية جميعها أشعة لا مؤينة .

أما الإشعاعات (X و γ) فهي بالطبع مؤينة .

الاشعاعات غير المؤينة:

تحتل الإشعاعات غير المؤينة مجالاً واسعاً من الأطوال الموجية في طيف الأشعة الكهرطيسية، وهي لا تقوم بتأيين المادة إلا في بعض الحالات الخاصة .

و هنا لا بد من الإشارة إلى الأثر الكهرضوئي ، إذ يمكن للأشعة فوق البنفسجية أو المرئية انتزاع الكترون من بعض البللورات المعدنية أو بللورات أنصاف النواقل ، و يستعمل هذا الأثر الكهرضوئي مبدأ لعمل الخلايا الكهرضوئية للكشف عن هذه الإشعاعات .

و يعتبر الإشعاع الليزري الذي ينجم عن تضخيم الإشعاع ذا أثر مؤين جيد عندما يكون قوياً .

منشأ الإشعاعات غير المؤينة :

ينجم عن تهييج الكترونات المادة المشعة التي تبث نتيجة لذلك بشكل مستمر(أشعة تحت الحمراء: ومجال أطوالها الموجية من800 وحتى1ملم) .

و يبث كل جسم إشعاعات تقابل درجة حرارته ، و عند تسخين الجسم فيصدر تباعاً :

إشعاعاً غير مرئي (أشعة تحت حمراء) .

إشعاعاً مرئياً (400 ÷ 800 نانو متر (nm)) .

إشعاعاً مرئياً أزرق في حال عدم تبخر الجسم و وصوله لدرجة حرارة كافية (كالنجوم) .

إشعاعاً فوق بنفسجي غير مرئي (كالشمس) .

و يصدر جسم الإنسان أشعة تحت حمراء تمت دراستها بطرائق التصوير الحراري (دراسة المخططات الحرارية) و يختلف طيف هذه الإشعاعات تبعاً لدرجة حرارة الجسم .

ونتيجة لإعادة توازن مستويات طاقة الالكترونات في الذرات والجزيئات المحرضة .

يمكن أن ينتج التحريض بدرجة حرارة منخفضة عن طريق التألق الضوئي (كالفسفرة أو الفلورة) .

و يمكن الحصول على الإشعاعات غير المؤينة المستعملة في الأغراض الطبية باستخدام مصابيح الانفراغ الكهربائي أو مصابيح الزئبق .

خواص الأشعة غير المؤينة ز تأثيراتها الحيوية :

يمكن لهذه الأشعة أن تولد ثلاث ظواهر لدى اصطدامها بالمادة ، فإما أن تمتص هذه الأشعة أو تعكسها أو تنفذ من خلالها .

تهتم هذه الدراسة بالنتائج الخطرة الناجمة عن التعرض لكمية ضعيفة من هذه الإشعاعات .

وعلى مستوى الجزيئات ، فتمتص بعض المواد كالبروتينات والأحماض النووية بعض الإشعاعات فوق البنفسجية ، و ينتج عن ذلك انخفاض الأثر الإنزيمي للبروتينات و تتوقف عملية انفصال السلاسل في تناسخ الحمض الريبي النووي منقوص الأوكسجين (DNA) مما يؤدي إلى حدوث الطفرات Motation .

و على المستوى الخلوي، يعتبر اختراق الأشعة سطحياً جداً ، ويحدث في الجلد والقرنية والعضويات الدقيقة ، وأوراق النباتات ، ولا يمتص الماء الإشعاعات التي يزيد طول موجاتها على 185 nm .

كما يُظهر طيف نشاط الأشعة فوق البنفسجية ذروتين عند الموجة 245 نانومتر و الموجة 295 نانومتر ، و تعد هاتان الموجتان الأخيرتان اللتان تمتصان من قبل الأدمة هما الأكثر خطورة على الإنسان و هما تسبان الطفح الجلدي ، و ضربة الشمس و آثارها في الجلد ، و لا يكون أثرها مباشراً ، بل قد يحدث بعد فترة مما يزيد من خطورة الحالة .

و من ناحية أخرى ، تتيح الأشعة فوق البنفسجية إمكانية تركيب فيتاميني D3 و D2 ،

و كما لهذه الأشعة أيضاً تأثير فعال في عملية استقلاب الكالسيوم والفوسفور و الكبريت عند الإنسان مما يمنحها دوراً علاجياً ضد الكساح .

الأشعة $\lambda = 265$ nm تتمتع بفعالية شديدة ضد البكتيريا وفي تعقيم الهواء .

الأشعة $\lambda = 300$ nm لها آثار مسرطنة للأنسجة الحية .

يمكن أن يسبب الضوء أو النور الساطع فقدان الرؤية الآنية على الأقل، فضلاً عما تسببه من التهابات للقرنية و احتراقها و بخاصة لدى تعرضها للأشعة فوق البنفسجية .

تزيد بعض المركبات الدوائية كالأنسولين و الدرينالين من حساسية الجسم تجاه هذه الشعة و خاصة موجاتها الأقصر من 320 nm .

لذا يجب على الأشخاص الذين يستخدمون هذه الأدوية عدم التعرض للأشعة فوق البنفسجية .

تستخدم أشعة UV لعلاج الأمراض الجلدية : حب الشباب ـ الصدف ـ التقرحات الجلدية و الجروح .

و الضوء المرئي ذو مجال ضيق يضم الأشعة الكهرطيسية التي تتراوح أطوال أمواجها بين

(380 ـ 780 nm) و التي تستقبلها عيون الأحياء لتعطي بدورها الإحساس بالإبصار نتيجة لاحتواء مستقبلات شبكية العين على بروتينات صباغية (كالرودبسين) الحساسة للضوء ، و تتفكك هذه البروتينات الصباغية عند تعرضها للضوء إلى مركباتها المكونة فتطلق سلسلة العمليات المؤدية للإبصار .

ومن المعلوم أن للضوء المرئي أثراً فعالاً في اليخضور الموجود في الكلوروبلاستات الموجودة في الأوراق الخضراء ، حيث يقدم الضوء الممتص من قبل المراكز الضوئية الخاصة الطاقة اللازمة لتركيب السكريات في النباتات الخضراء. و يمتص النسيج الحي الأشعة تحت الحمراء فتولد حرارة بعد امتصاصها وتنتقل هذه الحرارة من السطح إلى العمق و إلى محيط النسج المعرضة لها ، و يسبب انتشار الحرارة عن طريق السوائل الحيوية إلى تسريع المبادلات الخلوية . وكما تظهر من جراء التعرض للأشعة التحت الحمراءلطفح جلدي، واذا كانت الجرعة كافية فتتكون تصبغات لا تلبث أن تزول فيما بعد، و إن تكرار التعرض للأشعة يثبت التصبغ آنف الذكر، وإذا كانت جرعة الأشعة كبيرة تسببت في حروق المنطقة المعرضة لها .

يشعر المريض بالألم حين ترتفع الحرارة إلى ما بين 42ـ 43 درجة مئوية و يزداد الدوران الموضعي لتوسع الشعيرات الدموية ، و يستفاد من ذلك للعلاج في حالات التشنج العضلي أو الاحتقان ، و تزيد هذه الأشعة من قدرة الكريات البيض الدفاعية، كما تتمتع الأشعة تحت الحمراء كذلك بفعل مسكن .

التطبيقات في مجال التشخيص :

إن دراسة الأشعة تحت الحمراء التي يبثها الجسم تتطلب أولاً تحديد حرارته و تغيراتها ، و تؤدي دراسة توزع حرارة سطوح الجسم إلى وضع مخطط حراري له يتضمن طاقة الأشعة تحت الحمراء التي يبثها الجسم

يعد ارتفاع الحرارة (سواء أكان موضعياً أم عاماً) بمقدار 1,5 ـ 2 درجة مئوية ، عاملاً تشخيصياً هاماً ، و يعود ارتفاع درجة الحرارة إلى نشاط الأوعية أو الخلايا أو الالتهاب (منطقة نمو أو ترميم أو ورمأو اضطرابات مفصلية التهابية أو انتانات أو غيرها) .

الليزر كإشعاع غير مؤين وتأثيراته :

إن الليزر ، هو بلا شك ، من أهم ابتكارات هذا القرن ، و كلمة الليزر LASER مشتقة من الحروف الأولى للعبارة الانكليزية :

Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation

و التي تعني ((تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للإشعاع)) .و أينشتين Einstein هو أول من وصف الإصدار المحثوث على أسس نظرية في عام 1917 . و قد حصل T.H.Matman على أول ليزر (ياقوتي) في الولايات المتحدة و بدأ بتشغيله في تموز 1960

المبادئ الأساسية لعمل الليزر :

الامتصاص و الإصدار التلقائي :

الامتصاص :

يمكن للالكترونات التي تدور حول نواة ذرة معينة أن تشغل مدرارات مختلفة ، مواقعها محددة تماماً ، كما أن انتقال الإلكترون من مدار إلى آخر أكثر بعداً عن النواة يترافق بازدياد للطاقة الداخلية للذرة . يطلق اسم الحالة الأساسية على الحالة التي توافق النهاية الصغرى للطاقة ، أما الحالات الأخرى ذات الطاقات التي تزيد عن الحالة الأساسية فيطلق عليها اسم ((الحالات المثارة)) ، والانتقال من الحالة الأساسية إلى الحالة المثارة(أو من حالة مثارة إلى أخرى طاقتها أعلى) يترجم بامتصاص للطاقة من خارج الذرة ، يمكن أن تكون طاقة الإثارة هذه حركية

(صدمات الجسيمات أو الذرات أو الجزيئات ...) أو كهرطيسية ، في هذه الحالة الأخيرة ، تمتص الذرة الإشعاع الساقط عليها جزئياً أو كلياً .

و من المعروف أن الطاقة التي يحملها فوتون معين تعطى بالعلاقة :

$$E = h\nu$$

حيث :(ν) : تواتر الإشعاع الكهرطيسي المرافق للفوتون .

(h) : ثابت بلانك و يساوي $6,62 \times 10^{-34}$ Joule . sec

يخضع امتصاص الذرة (أو الأيون أو الجزيء) للطاقة الكهرطيسية للعلاقة :

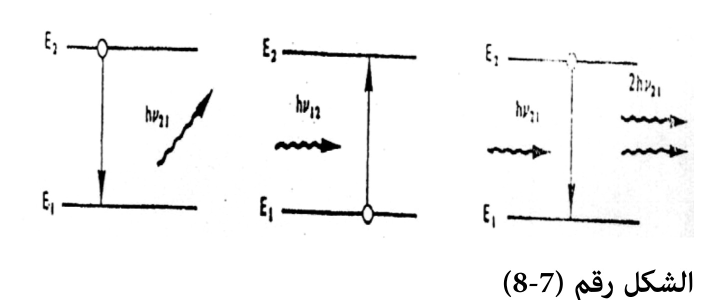
$$E_2 - E_1 = h\nu$$

حيث : E_1 : مستوى الطاقة الابتدائي في الذرة

و $E_1>E_2$: هو مستوى الطاقة الذي تُنقل إليه بعد امتصاص الفوتون ذي التواتر (ν) .

الإصدار التلقائي :

يمكن للذرة المثارة أن تفقد تلقائياً الطاقة المكتسبة و ذلك بالسقوط إلى مستوى أخفض و تتحول إلى طاقة حركية مثلاً من خلال الاصطدامات و بالتالي تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة .



الشكل رقم (7-8)

كما يمكن أن يـؤدي فقـدان الطاقة إلى إصدار إشعاع كهرطيسي يخضع لعلاقة الامتصاص نفسها : $\Delta E = h\nu$

حيث :

(ΔE)- يمثل الطاقة التي تفقدها الذرة ، (ν) - تواتر الإشعاع الصادر .

و هذا الإصدار التلقائي للإشعاع أو الفلورة لا يحدث في آن واحد في سائر المراكز المثارة ، و يتناسب عدد الذرات التي تظل مثارة بعد مرور مدة معينة t طردياً مع $e^{-t/\tau}$، حيث

(τ) ثابت يتعلق بالذرة المثارة و بالموجة الصادرة و يطلق عليه اسم ((عمر الحالة المثارة)) ، و يمكن أن يتغير من الثانية إلى جزء من النانو ثانية .

والإصدار التلقائي غير مترابط ، فكل ذرة تصدر بشكل مستقل عن الذرات الأخرى ، في أية لحظة و خلال مدة قصيرة جداً ، و ليبس ثمة علاقة بين هذه الإصدارات من حيث الطور أو الاتجاه أو الاستقطاب ، والإشعاع يصدر في جميع الاتجاهات ، بتواتر ثابت يتحدد بالفاصل بين مستويي الطاقة اللذين يحدث الهبوط فيما بينهما. و تتغير قيمته قليلاً بمفعول دُبلر ، نتيجة للحركة العشوائية لمراكز الإصدار و التي ترتبط بالتهيج الحراري ، فيخضع الخط الطيفي في هذه الحالة إلى توسع (عرض دبلر) يرتبط بشروط الحرارة و الضغط .

الإصدار المحثوث للإشعاع :

إن ظاهرة الإصدار المحثوث آينشتين نظرياً في عام 1917 توافق كما في حالة الإصدار التلقائي ، تحرير فوتون من ذرة معينة مثارة عند هبوطها إلى مستوى طاقي أخفض .

يُعطى تواتر الإشعاع أيضاً بالعلاقة :

$$E2_ \ E1 = h\nu$$

غير أن هذا الإشعاع لم يعد تلقائياً ، و إنما يتحرض بوصول فوتون طاقته تساوي الطاقة التي يمكن أن تتحرر من الذرة بعد هبوطها إلى المستوى الأخفض .و بتعبير آخر :يجب على الفوتون المحرِّض أن يكون له تواتر الفوتون الذي يحرّض إصداره (الشكل 7-8) .

يتمتع هذا الإصدار بخواص مهمة أهمها أن الإشعاعات المحرِّضة والمتحرّضة لها الطور نفسه و الاتجاه نفسه و الاستقطاب نفسه ، و ليس ثمة فرق فيزيائي ممكن بين الفوتون المحرّض و الفوتون المتحرض و ما يحدث كما لو أن الضوء قد تضخم فعلاً بالإصدار المحثوث للإشعاع و هذا هو تفسير المصطلح " ليزر " .

لنفحص الآن الشروط التي يمكن أن يحدث ضمنها الإصدار المحثوث:

لنفترض N ذرة ذات مستويين ممكنين للطاقة ، N1 ذرة في الحالة الأساسية E1 ، و N2 في الحالة المثارة E2 (E1>E2) ، و عند التوازن الحراري يخضع توزع هذه الذرات لقانون بولتزمان Boltzman .

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp - \left[\frac{E_2 - E_1}{KT} \right] \qquad (37-7)$$

(k) ثابت بولتزمان k = 1,38 × 10-23 Joule / deg

و(T) درجة الحرارة المطلقة للوسط المعتبر $T = t + 273,15$

لنحسب مرتبة هذا التوزع :

لنفرض أن $T = 300\ ^{\circ}K$ و أن $E2\ _\ E1 = h\nu$ يوافق الطول الموجي $1\ \mu m$ (في الإصدار أو الامتصاص) .

أي : $\nu = 3 \times 1014\ Hz$.

فنجد بسهولة أن $N2 / N1 - \# e\text{-}48 = 1,4 \times 10\text{-}21$:

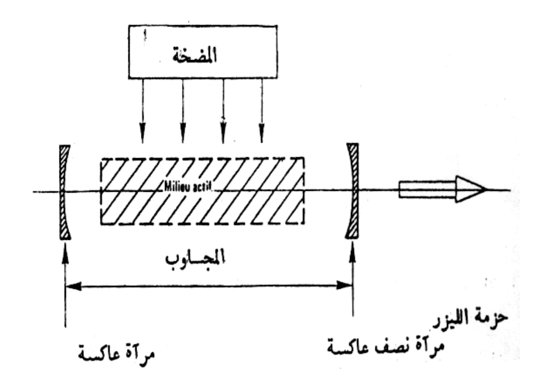
أي لا يوجد عملياً ذرات في الحالة المثارة في جسم في حالة توازن حراري عند الدرجة العادية من الحرارة للوسط المحيط ، وإن أي إشعاع وارد احتمال تحريضه للإصدار المحثوث قريب جداً من الصفر واحتمال امتصاصه قريب جداً.

من الواحد، و لكي يكون احتمال حدوث أي من الأمرين مساوياً 1/2، فإنه يجب أن يكون$N2 = N1$ و بالتالي يجب أن تكون درجة الحرارة لا نهائية، وللحصول على إصدار محثوث كبير يجب أن يكون$N1 < N2$ وهذا ما يمكن تحقيقه خارج مجال التوازن الحراري ، في حالة إثارة خارجية يطلق عليها اسم " الضخ " pumping .

العناصر التي يتكون منها الليزر :

الليزر منبع للطاقة يلجأ فيه الفوتون الصادر عن ذرة مثارة إلى استخراج الطاقة من الذرات المثارة الأخرى مولداً بذلك فوتونات أخرى ، فيتزايد بذلك اتساع الحقل الكهرطيسي الأصلي ، و لذلك يجب توافر عدد كبير من الذرات المثارة تكون قادرة على الإصدار بالحث ، و هذا يتطلب، كما في حالة أي متذبذب oscillator ، ثلاثة عناصر في آن واحد (الشكل 7-9) :

الوسط الفعال actif medium- المضخة التي تؤدي إلى قلب التوزع الإسكاني - حجرة التجاوب perot-fabry أو المجاوب resonator .



الشكل رقم (7-9) الرسم التخطيطي لمبدأ الليزر

الوسط الفعال (القاعدة الذرية للجملة) :

وهو وسط يملك بنية ملائمة ذات مستويات طاقية منفصلة تثار بسهولة و تملك القدرة على خزن الطاقة المستقبلة من الخارج .

يحدث إصدار الليزر عند طول موجي محدد عن طريق حالتين للطاقة في هذه البنية ، عقب انتقال للجملة تبدي فيه إصداراً تلقائياً يوافق عمراً طويلاً نسبياً للمستوى الأعلى (حالة شبه مستقرة) .

يمكن للمادة الفعالة أن تكون جسماً صلباً، كما في حالة الياقوت وهو بلورة من الألومين تحوي أيونات الكروم الثلاثية التكافؤ بنسبة من مرتبة 0,05 % ، وهي الأيونات الفعالة في اتجاه الإصدار المحثوث ، يستخدم كذلك كمادة فعالة الزجاج المشوب بأيونات النيوديوم ، أيضاً يشيع استخدام مادة فعالة ثالثة في الليزرات الصلبة و هي الياغ

YAG (Yttrium Aluminium Garnet) أي عقيق الإتريوم و الألمنيوم المشوب بالنيوديوم .

يمكن للمادة الفعالة أن تكون كذلك سائلاً أو غازاً ، و في هذه الحالة توضع في وعاء يكون جداران متقابلان فيه شفافين و مستويين ، والليزرات السائلة ما تزال حالياً في مجال مختبر البحث ، أما الليزرات الغازية فهي ، على العكس ، كثيرة الانتشار، يمكن أن نذكر أساسياً ليزر الهليوم ـ النيون (مزيج من الهليوم والنيون) وغاز ثاني أكسيد الكربون و الرغون المؤيّن، و الكربتون المؤيّن .

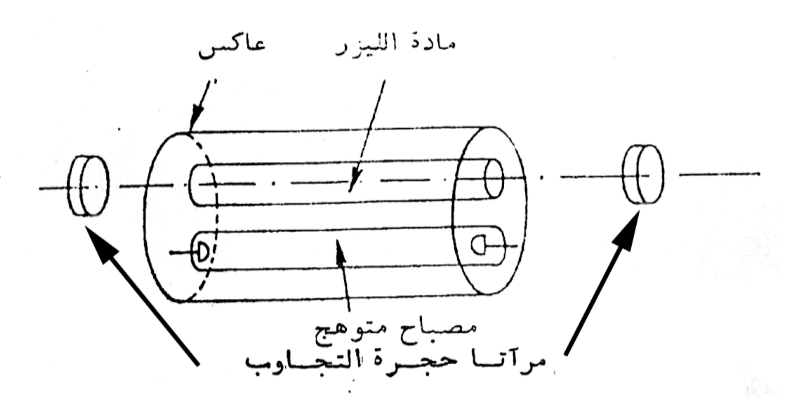
المضخة (وسيلة الضخ) :

و هي مصباح متوهج ، في حالة الليزرات النبضية التي تُضخ ضوئياً، يمكن أن يكون المصباح المتوهج خطياً كما في حالة(الشكل 7-10) أو حلزونياً يحيط بجسم الليزر .

تملك بعض الليزرات عدة مصابيح متوهجة خطية حول جسم الليزر .

تتكيف بعض المواد الليزرية (ياغ مثلاً) مع استطاعة ضخ لحظية أضعف من استطاعة المصباح المتوهج ، و يمكن أن تضخ بصمامات إصدار مستمر (كالقوسالكزينونية مثلاً)

و أن تعطي إصداراً ليزرياً مستمراً ، أخيراً تحاط جملة المضخة وجسم الليزر بعاكس شكله مناسب .



الشكل رقم (7-10)

يستخدم في الليزرات الغازية الانفراغ الكهربائي في الغاز نفسه كوسيلة ضاخة ، و في هذه الحالة تختلف بنية الليزر .

المجاوب - الاستجابة الضوئية:

كنا حتى الآن نفترض وسطاً فعالاً يتمتع بإمكان تضخيم إشعاع تواتره مناسب لدى دخوله فيه ، إن مثل هذا الوسط لا يمكن أن يصبح مقر تذبذب كهرطيسي مستقر ، و لكن إذا وضع مثل هذا الوسط المضخم في حجرة تجاوب ضوئي و متكيّفة مع التواتر (V) فإن حلقة الاستجابة الضوئية تحرض ظهور تذبذب بالتواتر نفسه طالما أن الربح الضوئي للوسط يتجاوز ما تفقده هذه الحجرة ، و هذه الظاهرة تماثل حلقات الاستجابة أو التغذية الراجعة في المتذبذبات الإلكترونية .

يحصل على هذه الاستجابة بصنع مجاوب ضوئي مكون من مرآتين عاليتي الانعكاسية متوازيتين و موضوعتين وجهاً لوجه : إن هاتين المرآتين تدفعان الموجة الكهرطيسية في دورات عديدة من الذهاب و الإياب في الوسط الفعال ، فتضخمان بذلك الحقل الكهرطيسي في الحجرة ،

و يتم اقتران الليزر ضوئياً بالخارج بجعل إحدى المرآتين نصف شفافة أو بإحداث فتحة في إحدى المرآتين ، وهذا الاقتران يشكل فقداً مفيداً لا بد منه .

و من شروط التجاوب أن يكون البعد بين المرآتين مضاعفاً صحيحاً لنصف الطول الموجي .

خواص إشعاع الليزر :

إن إشعاع الليزر يتميز بترابط **coherence** أمواجه نتيجة للإصدار المحثوث ولوجود حجرة التجاوب، كما يتصف بشدته وتوجهيته **directivity** و وحدانية لونه **monochromaticity** ، و هو يصنف كمنبع للإشعاع الضوئي ضمن الإطار العام لطيف الإشعاعات الكهرطيسية ، ولفهم الفارق الكبير بين إشعاع الليزر و إشعاع أي منبع ضوئي تقليدي لا بد من المقارنة بين خواصهما الموافقة .

و يبين الجدول (7-3) مقارنة بين الخواص الطيفية لمصباح الزئبق و الخواص الطيفية لليزر الأكثر شيوعاً و هو ليزر الهليوم ـ النيون .

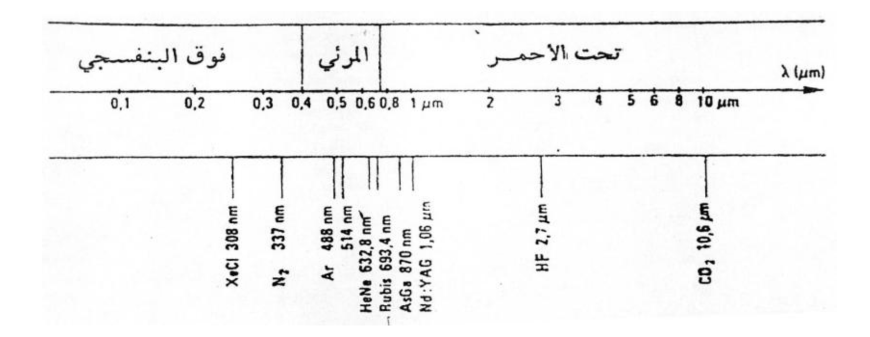
و ليس لهذه المقارنة أي دلالة إلا إذا أخذنا في الحسبان كلاً من الزاوية الصلبة التي يجري ضمنها الإصدار و العرض الطيفي للإشعاع الصادر و لهذا فإن المقدار الطاقي التمثيلي في هذه الحالة هو التألق الطيفي أو السطوع ،

فيتأكد حينئذ أن سطوع ليزر الهليوم ـ النيون الذي تقل استطاعته بمئة ألف مرة عن استطاعة مصباح الزئبق أكبر بمقدار 10 7 منه في حالة الزئبق .

	مصباح بخار الزئبق التقليدي	ليزر الهليوم - النيون
الطول الموجي λ	5460 nm	632,8 nm
الاستطاعة ρ	100 W	1 m W
الشريط الطيفي Δλ	≈ 10 nm	2 × 10-3 nm
زاوية الإصدار الصلبة (ستراديان)	δΩ = 4 π	δΩ≅ 10-6
التألق الطيفي I λ	1 W/cm2 . Sr . nm	5 × 107 W/cm2.Sr.nm

الجدول (7-3) يوضح مقارنة بين الخواص الضوئية لمنبع ضوئي تقليدي و ليزر معروف يرجع هذا الأمر إلى حقيقة أن الإصدار الليزري يحدث وفق شريط تواتري ضيق جداً وإن أهمية الليزرات كافة تتركز في الواقع، حول شدة هذه النقاوة الطيفية

يضاف إليها خاصية مكانية أساسية تميز توجيهية الإشعاع ، فتباعد حزمة الليزر ضعيف جداً، إذ أن الزاوية الصلبة التي يحدث ضمنها الإصدار صغيرة جداً، و تقدر بالمكروستراديانmicrosteradians . إن المجال المفيد من طيف الإشعاعات الكهرطيسية والذي يصدر ضمنه معظم الليزرات يمتد من المجال تحت الأحمر المتوسط (10 μ m) إلى فوق البنفسجي القريب 200 nm ، ثمة أجهزة تعمل خارج حدود هذا المجال ولكنها أجهزة مختبرية ، يبدي (الشكل 7-11) في هذا الجزء من الطيف المواقع الموافقة لأطوال أمواج إصدار أكثر الليزرات المتوافرة في السوق شيوعاً و نخص منها :



الشكل رقم (7-11)

أنواع الليزر :

الليزر الكربونيCO_2 ($\lambda = 10{,}6\ \mu m$) : و هو ليزر جزيئي ، يصدر وفق النظام المستمر أو النبضي .

ليزر فلور الهدروجينHF ($\lambda = 2{,}7\ \mu m$) : و هو ليزر كيميائي يعمل وفق النظام المستمر أو النبضي ، يعتمد على تفاعلات كيميائية من شأنها تشكيل جزيئات موجودة في حالتها المثارة مباشرة .

ليزر النيوديوم (Nd) الواقع عند تحت الأحمر القريب ($\lambda = 1{,}06\ \mu m$) : و هو ليزر مكون من عازل مشوب يعمل أساسياً وفق النظام النبضي ، يمكن أن يكون القالب بلورياً

(YAG) أو زجاجياً (الزجاج المشوب) .

ليزر زرنيخ الغاليومAs Ga : و هو ليزر نصف ناقل يصدر عند تحت الأحمر القريب بين 850 و 900 nm وفق النظام المستمر .

ليزر الياقوت ($\lambda = 694{,}3\ nm$) : و هو ليزر عازل مشوب يعمل وفق النظام النبضي في المجال المرئي (الأحمر) .

ليزر الهليوم ـ النيون (He _ Ne) : و هو ليزر غازي يصدر باستمرار في المجال الأحمر عند الطول الموجي λ = 632,8 nm .

الليزر الصباغي: وهو ليزر يمكن تكييفه تواترياً في كامل المجال المرئي (400 nm _ 700 nm) و يصدر باستمرار أو بشكل نبضي .

ليزر الأرغون : و هو ليزر مؤيّن يعمل وفق النظام المستمر وفق عدة خطوط مرئية ، يقع الخطان الأكثر شدة عند λ= 442 nm (الأزرق) وλ = 514 nm (الأخضر) .

ليزر الهليوم ـ الكادميوم (He _ Cd) : و هو ليزر بخار معدني ، يصدر في منطقة الأزرق ، عند الطول الموجي λ = 442 nm (الأزرق)

ليزر الآزوتN_2 : و هو ليزر فوق بنفسجي نبضي يصدر عند الطول الموجي 337 nm .

ليزرات الإكسايمرExcimer (excited dimer و يعني معقداً ثنائياً مثاراً) ، و هي طائفة جديدة من الليزرات الجزيئية النبضية فوق البنفسجية، و أكثر ما يمثلها ليزر المعقد المثار المكون من كلور الزينون (Xe Cl) ويصدر عند الطول الموجي λ = 308 nm .

التفاعل بين ضوء الليزر و النسج الحيوية(الامتصاص الانعكاس ، الانتثارو النفوذية):

عندما يسقط ضوء الليزر على المادة الحية فإما أن يُمتص فيهاأو ينعكس عنها أو ينتثر فيها أو ينفذ منها .

و في الحالة التي يحدث فيها امتصاص للضوء فإما أن يعقب ذلك إشعاع للفلورة أو أن تتدخل آليات أخرى من شأنها إتلاف الخلايا كالمفعول الحراري أو الفوتوكيميائي أو القطع الضوئي أو الكهربائي أو الميكانيكي أو الكمومي ، و بقدر ما يكون امتصاص النسيج للضوء شديداً يكون عمق اختراقه أضعف و آثاره أكثر سطحية .

هذا و إن مكونات المادة الحية تختلف في امتصاصها للضوء بحسب الطول الموجي ، فالماء الذي يدخل في تركيب الجسم بنسبة كبيرة يمتص بشدة في المجال فوق البنفسجي البعيد (أقل من 200 nm) و في تحت الأحمر البعيد (بدءاً من μ 1,3 m أي 1300 nm) .كما تتميز الجزيئات العطرية الحلقية في البروتينات و الحموض النووية بامتصاص أعظمي في المجال الواقع بين260 و280 nm و لهذا فإن عمق اختراق أضواء الليزر فوق البنفسجي و تحت الأحمر في النسج ضئيل جداً .

تعود حمرة الدم إلى شدة امتصاص الهموغلوبين في مجالات الأزرق والأخضر والأصفر .أما فيما يتعلق بالميلانين ، وهو الصباغ السائد في البشرة ، فهو يمتص في مجال واسع يميد من فوق البنفسجي إلى تحت الأحمر القريب .

أما الضوء الواقع بين 600 nm و1300 فتخامده في النسج الحيوية ضئيل جداً ، و تكون شفافية الجسم أكبر ما يمكن عند الطول الموجي 1000 nm .

إن تفاعل الضوء مع النسج لا يقتصر على الامتصاص ، فالضوء يمكن أن ينعكس عن النسج ، أو ينتثر في جميع الاتجاهات ، فعندما تسقط حزمة ليزرية على نسيج حيوي ، ينعكس عنه جزء صغير من الضوء يقدر بنحو 5 % .

إن معظم حزمة الليزر يخترق النسيج حيث يمتص جزئياً و ينتثر جزئياً ، و إن امتصاص الضوء في المجالين فوق البنفسجي و تحت الأحمر، كما رأينا شديد و عمق اختراقه ضعيف جداً .

و إن انتثار الضوء بشدة في النسج و في الاتجاه كافة بين الطولين الموجيين 600 nm و 1300 nm هو السبب الذي يضعف امتصاصها له كما يؤدي إلى عتامتها بحيث لا يتجاوز عمق اختراقه لها بضعة ملمترات ، و في حالة الضوء المرئي الذي يقل طوله الموجي عن 600 nm يتضافر الامتصاص مع الانتثار ليعطي عمق اختراق أقل من الملمتر .

يسبب امتصاص الجزيئات الحيوية للفوتونات الضوئية تغيرات شديدة فيها و من هذه التفاعلات :

التفاعل الحراري :

إن هذا المفعول يتعلق بامتصاص النسيج المعرض للإشعاع بشكل إجمالي للطاقة الضوئية ، وهو التفاعل الأكثر شيوعاً وفائدة بين طرائق العلاج الليزرية ، فالجزيئات المثارة بفوتونات حزمة ليزرية تفقد إثارتها بعمليات لا إشعاعية تتحول فيها الطاقة الضوئية إلى حرارة ترفع درجة حرارتها موضعياً ، وعندما يشعع نسيج معين بحزمة ليزرية مبأرة يشرع الماء فيه بالغليان ثم يتفحم (عند نحو 200 مْ) ، في حين يتخثر الدم في المنطقة المجاورة ، و قد استخدمت عدة ليزرات في هذا النوع من طرائق العلاج الحرارية .

إن ليزر غاز الكربون الذي يصدر عن الطول الموجي تحت الأحمر البعيد 10,6 μ m يعد من أكثر الليزرات فعالية في الجراحة نظراً لأنه يمتص بسهولة من قبل النسج، فهو يسهم في نزع بعض الناميات (الزوائد) في الأنف والحنجرة أو الكبد أو المناطق النسائية بفقدان للدم أقل بكثير منه في حالة التداخل الجراحي التقليدي بفضل قدرته التخثيرية ،

فضلاً عن أن المنطقة المتخثرة رقيقة نظراً لأن الحزمة لا تخترق النسيج المشعع إلا سطحياً .

تستخدم الليزرات المرئية، كالليزرات الأرغونية (الأزرق ـ الأخضر) و الكربتونية (الأحمر) كثيراً في الطب ، فالأزرق بخاصة يُمتص بشدة من قبل الهموغلوبين و هذا ما يعطي ليزر الأرغون خواص التخثير المهمة .
يستخدم ليزر الأرغون في العينية في إيقاف نمو الأوعية في قعر العين لدى المرضى السكريين ، و في كبح انفصالات الشبكية .
أما في معالجة الأورام الوعائية والنمش taches devin فيفضل نوع آخر من الليزرات و هو الليزر الصباغي ، بهذا الليزر الذي يكيف بحسب الرغبة وفق مجال عريض من الأطوال الموجية يسمح بتشعيع المناطق المصابة بالطول الموجي 580nm و هو الطول الموجي الموافق لنهاية امتصاص الهموغلوبين الأخيرة، والذي يمتاز بعدم التأثير في المناطق الأخرى المجاورة على عكس الضوء الأزرق .

المفعولات الفوتوكيميائية :

وهي المفعولات المرتبطة بالامتصاص الاصطفائي للضوء ، الذي تقوم به في معظم الأحيان إحدى الركائز المكونة للخلية، وتتجلى إما بإتلاف الخلايا الخبيثة مباشرة أو على مراحل متعددة و في هذه الحالة يطلق على هذا التأثير اسم التأثير الفوتودينميكي، وتعتمد على حقن متحسس ضوئي يمتاز بتفضيله التثبت على الورم: وجزيئاته قادرة على امتصاص ضوء الليزر بفعالية كبيرة، وهذا ما يحملها إلى حالات مثارة ، ثم تعود بسرعة كبيرة نحو حالات طاقاتها أخفض مع تشكيل نواتج سامة تقتل الخلايا الخبيثة وهنا تكمن الفائدة الرئيسة من العملية .

للمواد المتحسسة بالضوء تاريخ طويل في الطب، وقد اكتشف قدماء المصريين علاجاً يربط بين تناول النباتات التي تحوي الصدافولين psoriasis والتعرض لضوء الشمس في حالة البهق vitiligo ، وهو يستخدم حالياً في معالجة الصداف .

ويوجد العديد من المتحسسات الضوئية التي تتمركز في النسج المريضة : كالأكريدين والأيوزين و الفلوروسئين و التتراسكلين و الكبريتات و البربرين berberine و أهم هذه المواد البرفرينات التي تتمركز في النسج المريضة أكثر من النسج السليمة .

ثمة مركب للبرفرين وهو مشتق الهماتوبرفرين (HPD) يمتاز بالتثبت على الورم و الكشف عن وجوده بالفلورة الحمراء و بتحريض التموت بعملية فوتودينميكية ، و يستخدم حالياً في معالجة مختلف الأورام الخبيثة (في الرئة أو المثانة أو المري) .

ولفهم آليات المعالجة الفوتودينميكية بالاعتماد على (HPD) في حالة السرطانات ، يجب فحص الخواص البارزة للجزيئات ، فهي قادرة على امتصاص الضوء في مجال واسع من الأطوال الموجية .

تقع أول نهاية عظمى للامتصاص عند 400 nm ، و لكن هذا الموقع يوافق نهاية امتصاص لهموغلوبين الدم و غير ملائمة جداً لمعالجة الأورام .

كما يوجد نهايات عظمى عديدة أخرى يقع آخرها عند 630 nm وهو طول موجي ينخفض عنده امتصاص الهموغلوبين بشدة ، و يختار ليزر عند هذا الطول الموجي لتشعيع الـ (HPD) المتمركز في الورم لأن هذا الطول الموجي هو الذي يضمن أكبر عمق للاختراق .

إن امتصاص جزيئات الـ (HPD) للفوتونات ينقلها إلى حالات مثارة ، حيث يمكنها أن تفقد طاقة الإثارة إما بإصدار إشعاعات فلورة مميزة حمراء تحوي خطين طيفيين ، و هذا الضوء دليل على الخلايا التي قامت بتثبيت جزيئات الـ (HPD) أي على الخلايا الورمية .

إذا كان هذا الشكل لزوال الإثارة يضمن تشخيصاً شديد التأثير بالأورام ، فإن الطريق الآخر الذي تسلكه كذلك من وقت إلى آخر لتسقط ثانية على الحالة الأساسية هو الذي يحرض التموت .

إن إتلاف الخلايا الخبيثة بالأكسجين الذري الناتج في داخل الورم نفسه هو أساس المعالجة الفوتودينميكية والتي تستخدم في مراكز عديدة في العالم لمعالجة سرطانات الجلد .

إن المعالجة الفوتودينميكية يمكن أن تكون مفيدة أيضاً في إكمال طرائق العلاج الأخرى بتطبيقها في تنظيف مكان الورم بعد العملية لإزالة آخر الخلايا الخبيثة .

الفلورة (الكشف عن الأورام عن طريق الفلورة المحرضة بالليزر) :

يجري التشعيع عملياً بليزرات يتكون وسطها الفعال من صباغ منحل في محل يمكن تكييف طوله الموجي مع القيمة المطلوبة، واستطاعتها تقدر بنحو 2 Watt .

يستمر التعرض لليزر بضع عشرات الدقائق ، و في العرف التجريبي تقارن المناطق المشععة بالليزر بمناطق أخرى غير مشععة مما يظهر فعالية العلاج .

إلى جانب النتائج الواعدة للمعالجة الفوتودينميكية التي تقوم بها المواد المتحسسة بالضوء كالهماتوبرفرين ، فإن هذه المواد تمتاز بإصدار إشعاع الفلورة الذي يمكنه إظهار وجود أورام صغرية في وقت مبكر جداً مقارنة بالطرائق التقليدية ، كما يمكن للفلورة داخلية المنشأ (الذاتية) المتحرضة بالليزر في مختلف الأصبغة الطبيعية للنسج أن تسهم في تعيين هوية هذه النسج ، وهي تمتد في مجال عريض من الأطوال الموجية، وتقع نهايتها العظمى عند الأزرق المخضر في الحالة التي يصدر فيها الليزر في المنطقة البنفسجية أو فوق البنفسجية .

إن الفلورة الذاتية في الخلايا الورمية أضعف منها بكثير في حالة الخلايا السليمة ، وهي تهبط إلى النصف في أورام القصبات، وأضعف بعشرين مرة أو أكثر في حالة أورام المثانة .

أما بوجود مستحضر للفوتونات فيمكن الاعتماد على زيادة الفلورة النوعية العائدة لهذا المتحسس بالنسبة إلى الفلورة الذاتية لتحسين التباين بين الخلايا الورمية والسوية .

ولهذا يكفي تقسيم شدة الخطوط العائدة للمتحسس وحده على شدة الفلورة الذاتية .

ونظراً لأن كلاً من شدتي الفلورة يتناسب طردياً مع الإضاءة الليزرية فإن هذه التقانة تمتاز بإعطاء إشارة مستقلة عن الشدة الضوئية وعن طريقة إضاءة الورم وعن حالته السطحية ... الخ ، و بذلك يصبح التشخيص مستقلاً عن العوامل التي يصعب التحكم فيها سريرياً .

القطع الضوئي (الليزري) photoablation :

وهو التأثير الفوتوكيميائي اللاحراري، وينتج بخاصة عند الليزرات فوق البنفسجية النبضية (الإكسايمر)، وتفيد هذه المعالجة بخاصة في حالة الشرايين التاجية نظراً لأن الليزرات التي تؤثر في المفعول الحراري تحرض توذماً شريانياً، لا يحصل في حالة القطع الليزري فوق البنفسجي، وقد جرت معالجة المئات من المرضى بهذه الطريقة من أمراض الشرايين التاجية.

المفعولات الكهربائية :

ثمة آلية أخرى لتفاعل ضوء الليزر مع المادة الحية تكمن في الحقل الكهربائي الذي يرافق حزمة الليزر. إن كل فوتون في هذه الحزمة يترافق في الواقع بموجة كهرطيسية جيبية مكونة من حقلين كهربائي وآخر مغنطيسي. ونظراً للترابط المكاني لكافة الفوتونات المكونة لحزمة الليزر ،

فإن الحقل الكهربائي أو المغنطيسي في كل نقطة منها هو مجموع الحقول الكهربائية أو المغنطيسية لكافة الفوتونات، الأمر الذي ينجم عنه إمكانية بلوغ الحقل الكهربائي المرتبط بالحزمة قيماً كبيرة من مرتبة1-vm 107 إلى1-vm 1012.

و لما كانت الحقول الكهربائية التي تتحكم في الذرات و تربط بين الإلكترونات والنوى تقع بين 108 و 1012vm-1 ، فإننا ندرك سهولة أنه يمكن لنبضات الليزر أن تتلف التعضيات الجزيئية و تؤدي لتأيينها و تحطم روابطها و ظهور الجذور الحرة .يمكن أن نفهم من ذلك أيضاً أن النبضات الليزرية يمكن أن تؤثر على الثوابت الفيزيائية للأوساط التي تعبرها ، كناقلية النسج و ثوابت كهرنفوذيتها أو الاستقطاب الغشائي للخلايا مما يحدث اضطرابات في التبادلات الأيونية عبر الغشاء .

عند استخدام الليزرات النبضية (نانو أو بيكوثانية) فإن هذه الظواهر الكهربائية تكون شديدة جداً وتحرض في نقطة تأثيرها توليد كرة من الغاز المتأين أو البلازما ، تؤثر في الإشعاع الذي يولدها بقدر تأثيرها على الوسط البيولوجي الذي تتولد فيه .

المفعولات الميكانيكية :

إن المفعولات الميكانيكية في حالة الليزرات النبضية ، حيث تساق الطاقة إلى الهدف البيولوجي في مدد قصيرة جداً (تقع بين 100 ms و 10-12 s) تعود إلى تفاعل طاقة إشعاعية كبيرة جداً مع الوسط البيولوجي بشكل يكاد يكون لحظياً .

إن هذا التفاعل يضم :

توليد الأمواج الصوتية وأمواج الصدم نتيجة لتولد تدرج حراري موضعياً في النسيج يتطور بسرعة بدلالة الزمن .

المفعول الكهرتقلصي electrostrictif المرتبط بالحقل الكهربائي للموجة .

ضغط الإشعاع الذي يحدث عند مستوى السطح البيني لامتصاص الإشعاع .

إن الأمواج الميكانيكية المتولدة بهذه الطريقة تدفع الخلايا مشكلة في بعض الحالات فوهة حقيقية و يمكنها توجيه بعض الجزيئات في اتجاهات مفضلة .

إلى جانب ذلك يمكن لموجات الصدم هذه أن تولد ظواهر فوق صوتية عالية التواتر جداً تنتقل في الأوساط المحيطة و إن هذه الظواهر الميكانيكية عندما تطلق نبضة الليزر على حجرة صلبة شبه مغلقة كالحجاج (orbite) أو الحفرة السنية تكون ذات أهمية خاصة نظراً لأن جودة ناقليتها العظمية يمكن أن تحرض إصابات عن بعد .

الإشعاعات المؤينة – الأشعة السينية (X-ray) :

مبدأ عمل أنبوب توليد الأشعة السينية

(أنبوب كوليبج Coolidge):

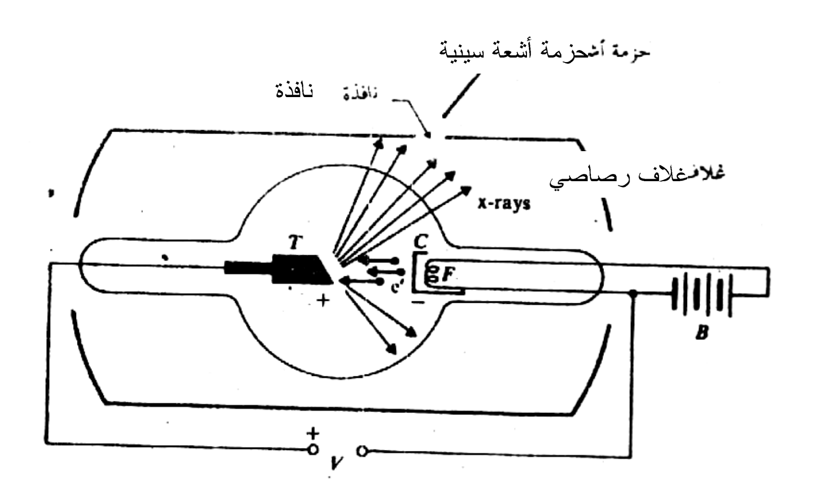
يتكون المهبط من سلك تنغستين (F) كما في الشكل (7-12). تُسرَّع الالكترونات الصادرة عن المهبط (C) نحو المصعد (T) المقابل للمهبط بواسطة كمون تسريع V يصل لعدة آلاف فولط مطبق بين المهبط والمصعد، وعندما يصطدم الإلكترون بالمصعد (الهدف) تكون طاقته الحركية: $K = eV$.

فالإلكترونات التي تصطدم بالهدف تفقد 98% من طاقتها الحركية على شكل حرارة، أما الجزء الباقي من الطاقة الحركية فإنه يولد الأشعة السينية في عملية إشعاع التباطؤ، وتكون الأشعة السينية الصادرة متناحية. وهذا ما يستدعي وجود نظام تبريد لتبريد الحرارة. فعندما يصطدم الإلكترون المسرع ذو الطاقة الحركية K بهدف معدني، تتولد قوة جذب بين هذا الإلكترون ذي الشحنة السالبة ونوى ذرات المعدن ذات الشحنة السالبة، مما يؤدي إلى تغير مسار الإلكترون، وينتج عن ذلك تباطؤ الإلكترون يرافقه إصدار أشعة كهرطيسية طاقتها hv تساوي مقدار الطاقة الحركية للإلكترون (K1-K2)، ويدعى هذا الإشعاع بالأشعة السينية.

يكون المسريان (المصعد والمهبط) متوضعين في أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء تحت ضغط جوي منخفض.ويحقق التصفيح الخارجي للأنبوب الحماية والوقاية وتوجيه الحزمة المفيدة الأغراض عبر النافذة الموجودة في هذا التصفح الرصاصي.وتتراوح قيمة فرق الكمون الضروري لتوليد الأشعة السينية من 50-150 كيلو فولط في الاستخدامات الطبية.ويحدد فرق الكمون المستخدم إلى إمكانية اختراق الأشعة السينية للأجسام.ويكون الطول الموجي الوسطي الحاصل من مرتبة 10 بيكومتر ($0.1 A^{\circ}$). وتتعلق شدة الأشعة السينية التي تعبر النافذة، بعدد الإلكترونات الصادرة عن السلك خلال واحدة الزمن، و بدرجة حرارة السلك التي تحدد مقدار تدفق تيار الفوتونات الصادرة عن المصعد في واحدة الزمن.

ومن المفيد أن ننوه إلى أن إصدار X-ray، تتوقف فجأة فور إيقاف تغذية الأنبوب بالتوتر العالي.

يسبب تحسين مردود الأشعة السينية عن طريق زيادة التوتر العالي، انزياحاً في طيف الأشعة السينية نحو أمواج أشعة ذات أطوال موجية أقصر كما سنرى لاحقاً.

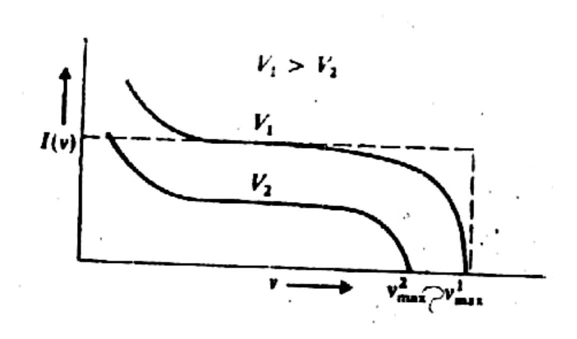


شكل (7-12) مخطط أنبوب الأشعة السينية لتوليد الأشعة السينية

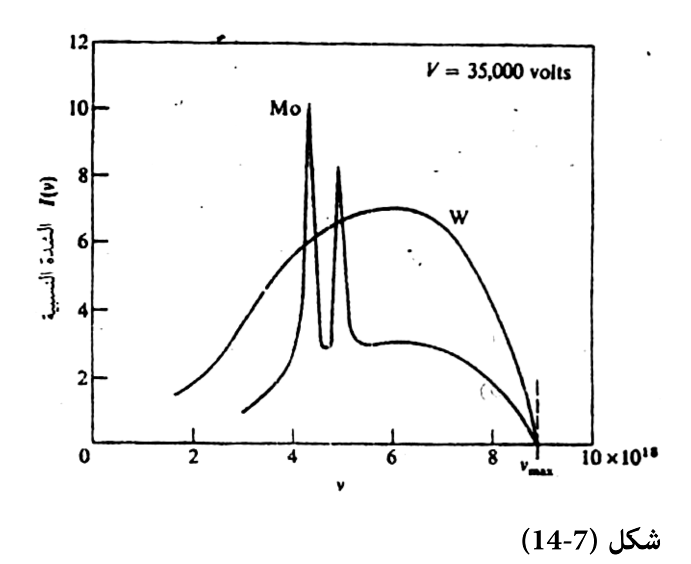
طيف الأشعة السينية:

يوضح الشكل (7-13) الطيف المستمر للأشعة السينية، وهو يبين تغيرات شدة الإشعاع(V)I بدلالة التواتر(V) من أجل جهدي تشغيلV1، V2.

أما الشكل (7-14) فيبين تغيرات (V)I بدلالة V من أجل معدنين مختلفين هما التنغستين w والموليبديوم Mo، وذلك من أجل نفس جهد التشغيل.



شكل (7-13)



شكل (7-14)

ومن أهم الخصائص المميزة لطيف الأشعة السينية:

1- يملك طيف الأشعة السينية توزعاً مستمراً للإشعاع على كافة الترددات حتى تردد أعظمي معين Vmax، بحيث تكون قيمة Vmax مستقلة عن مادة الهدف كما هو مبين في الشكل (7-14)، ولكنها تتعلق بجهد تسريع الأنبوب v كما هو مبين في الشكل (7-13) ويتناسب Vmax طرداً مع كمون التشغيل V وفق العلاقة:

$$\frac{\nu_{\max}}{V} = const \qquad (7-38)$$

2- يبين الشكل (7-14)، وجود خطوط مميزة مركبة على طيف الأشعة السينية المستمر بالنسبة لهدف الموليبديوم، وإن موضع هذه الخطوط لا يتأثر بتغير جهد التسريع V، وبالمقابل فإن مواضع هذه الخطوط تظهر عند مواضع مختلفة بالنسبة لمواد مختلفة. هذه الخطوط هي خطوط الأشعة السينية المميزة التي تتعلق بطبيعة مادة الهدف.

لو عدنا إلى العلاقة (1-6) والتي تربط بين التردد الأعظمي Vmax وعلاقته بكمون التسريع، فإنه لا يوجد تفسير في النظرية الكهرطيسية الكلاسيكية، ولكن نظرية الفوتون (كم الطاقة المتحرك بسرعة الضوء)، فإنها تقدم تفسيراً لعلاقة Vmax بـ V

بحيث:

يمكن للإلكترون الوارد أن ينتج عدد من الفوتونات، ولكن إذا فقد الإلكترون كل طاقته دفعة واحدة فيعطي فوتوناً واحداً طاقته hVmax ويحقق العلاقة التالية:

$h\nu_{max} = e\,V$

ومنه يمكن كتابة العلاقة التالية:

$$\frac{\nu_{\max}}{V} = \frac{e}{h} const \qquad (7-39)$$

ولكن:

$$\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{\max}}$$

ولذلك:

$$\frac{c}{\lambda_{\min} V} = \frac{e}{h} \qquad (7-40)$$

ومنه نجد:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV} \qquad (7-41)$$

ولو عوضنا قيمة كل من e ، h ، c فنحصل على العلاقة:

$$\lambda_{\min} = \frac{1.24\times10^{-4}}{V} \quad (cm) \qquad (7-42)$$

حيث تقدر V بالفولت.

خواص الأشعة السينية:

نظراً للتطبيقات المتعددة للإشعاعات المؤينة، سواء في مجالي التشخيص أو المعالجة أو في مجالات البحث العلمي تدفعنا إلى تناول هذه الإشعاعات ودراستها بشيء من التفصيل.

اكتشف العالم رونتجن (Roentgen) الأشعة السينية في عام 1895 وذلك عندما كان يجري تجاربه على مصابيح الأشعة المهبطية وتعليله لهذه الظاهرة وقد منح جائزة نوبل الأولى للفيزياء تقديراً لاكتشافه وتفسيره.

للأشعة السينية طبيعة الضوء المرئي نفسها، فهي أشعة كهرومغناطيسية. وتحتل الأشعة السينية موقعاً متوسطاً بين الأشعة غاما والأشعة فوق البنفسجية.

وتتلخص خصائص الأشعة السينية بما يلي:

لا تنحرف حزمة الأشعة السينية بتأثير الحقول الكهربائية والمغنطيسية، ممّا يؤكد أن فوتونات الأشعة السينية لا تحمل أية شحنة كهربائية.

تنتشر الأشعة السينية عبر المادة في كل اتجاهات الفراغ، ويترافق ذلك بتغيرات متفاوتة في أطوال موجتها.

تمتص المواد الأشعة السينية بمقادير أدنى بالمقارنة مع الضوء المرئي، وتتفاوت قيم الامتصاص تبعاً لطبيعة المادة المُخترقة وثخانتها، وتُعد هذه الخاصية بالتحديد أساساً لتصوير الشعاعي التشخيصي الطبي والسني باستخدام الأشعة السينية.

تُحدث الأشعة السينية تفاعلات كيميائية وحيوية في الأنسجة الحية، إذ يؤدي هذا الفعل الكهرضوئي إلى التأين ويأخذ الاستقلاب الخلوي مسارات غير طبيعية، وقد ينتهي ذلك أحياناً بموت الخلايا. وتؤثر الأشعة السينية في مستحلبات التصوير الشعاعي فنحصل بذلك على الصور المستقرة.

تحرض الأشعة السينية عدداً من المواد على التألق، إذ تبث بلورات كبريتات التوتياء مثلاً ضوءاً أخضر مرئياً إذا أُثيرت ذراتها بالأشعة السينية، وينجم ذلك عن تحول فوري لأطوال أمواج الأشعة السينية القصيرة إلى أمواج ضوئية مرئية أطول. ويعدُّ التنظير الشعاعي Radioscopie تطبيقاً عملياً لهذه الخاصية، وكذلك التصوير الشعاعي الذي يتم باستخدام كاسيتات مع شاشات إضافية.

تمتلك الأشعة السينية القدرة على تأيين الغازات التي تخترقها. وتؤين كذلك الهواء الجوي، ويزول هذا التأين فور توقف تدقق الأشعة لأن الشوارد لا تلبث أن تتحد ثانية فيما بينها.

تنتشر الأشعة السينية بخط مستقيم في الفراغ - كما في الأشعة الضوئية - وفي المسافات الأولى من الهواء القريبة من منبعها وينجم عن ذلك ما يلي:

يكون عدد الفوتونات ثابتاً ضمن زاوية مجسمة صلبة محددة، يمثل منبع الأشعة السينية قمة لها.

يقل عدد الفوتونات الواصلة إلى واحدة السطح كلما ابتعدنا عن قمة الزاوية المشار إليها سابقاً بحيث يتناسب ذلك عكساً مع مربع بعد السطح عن القمة الزاويّة.

تغير الأشعة السينية اتجاهها داخل البلورات ضمن بعض الشروط أي أن هذه الأشعة تعاني كذلك ظاهرة الانكسار المعروفة.

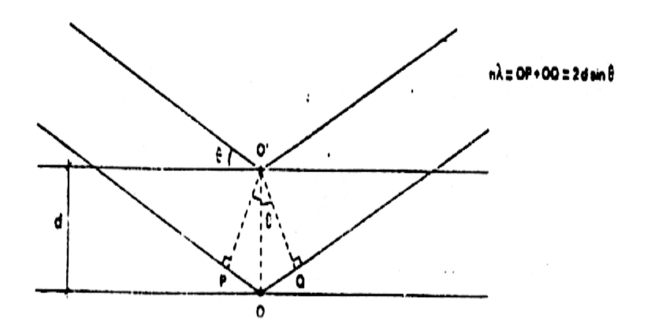
يمكن للأشعة السينية أن تولد ظواهر التداخل الموجية المعروفة أيضاً في الأشعة الضوئية.

الأشعة السينية نفوذة عبر البلورات: فعندما نسقط حزمة عمودية وموجهة من الأشعة السينية على سطح بلورة ما، فنلاحظ ارتسام صورة لانعراج الأشعة المارّة على مستوٍ عمودي تصطدم به الأشعة خلف البلورة. وتتكون هذه الصورة بفعل ذرات مختلف السطوح الشبكية للبلورة التي تنشر الأشعة في كل اتجاهات الفراغ.

أما انعكاس الأشعة السينية على سطوح فرمي في البلورات فتحصل وفقاً للآلية التالية: تنعكس الأشعة السينية الواردة نحو سطح البلورة باتجاه غير ناظمي على سطوح التراص المختلفة (فرمي). فقسم من هذا الانعكاس يحصل على السطح بينما يحصل بعضه الآخر في العمق داخل البلورة. لهذا فإن جزء الحزمة المنعكس على السطح الداخلي (الذي يبعد عن السطح الخارجي بمسافة d) يسير مسافة أطول ومقدارها 2d sin θ حيث θ هي الزاوية المحصورة بين الشعاع والسطح، الشكل (7-15)، ويتطلب المحافظة على التوافق في الطور الأساسي المحافظة على علاقة براغ (Bragg).

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad \text{(7-43)}$$

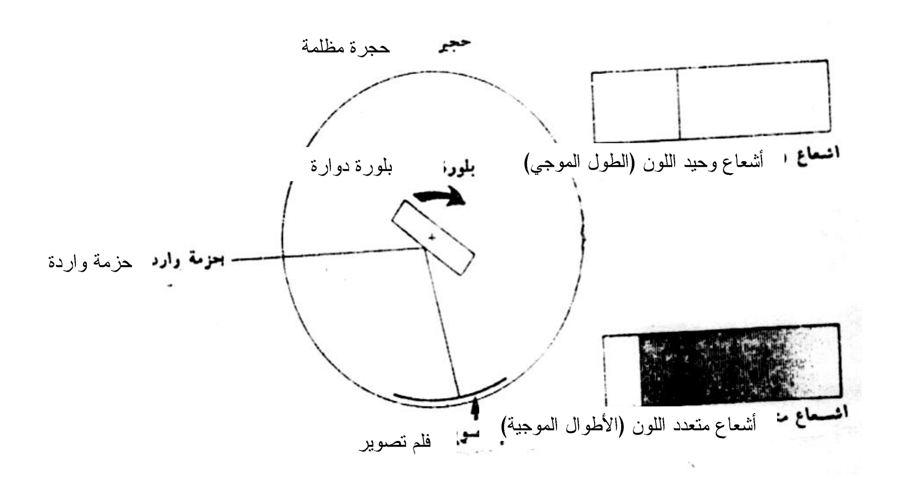
(حيث n عدد صحيح)



شكل (7-15) انعكاس براغ

وهذا يسمح لنا بحساب البعد الشبكي (d) من حساب طول موجة الشعاع المستخدم. وهذا هو أساس إحدى طرائق التصوير الطيفي الهامة باستخدام الأشعة السينية.

أما عن التصوير الطيفي بطريقة البلورة الدوّارة، فتقوم هذه الطريقة على وضع البلورة المشار إليها في الشكل السابق (7-15) على محور دوران في غرفة مظلمة بشكل يسمح بانعكاس الأشعة السينية على لوحة تصوير حساسة. فنحصل بنتيجة ذلك على مخططات طيف ذات خطوط سوداء تدل على الأوضاع التي يتحقق فيها توافق الطور. ففي حالة شعاع مكوّن من طول موجي واحد نحصل على خط أسود واحد، أما في حالة شعاع متعدد الأطوال الموجية المتتالية نحصل على خطوط متعددة على الفم، وكل وضع جديد للبلورة يحدد زاوية جديدة θ ويختار طولاً موجياً يسمح بتوافق الطور، الشكل (7-16).



شكل (7-16) الصورة الطيفية للأشعة السينية بطريقة البلورة الدوّارة

أما تطبيقات الأشعة السينية فتتلخص بما يلي:

إنها وسيلة مراقبة في الصناعة للتحقق من بعض البنى في الصناعات الثقيلة (كبنية أجنحة الطائرات، و .. الخ)، وهذا ما يدعى بالتصوير الشعاعي المعدني.

إن دراسة انحراف الأشعة السينية في الأجسام البلورية والحيوية يعطي صورة مميزة لهذه البلورات والأجسام الأمر الذي يساعد كثيراً على فهم تركيبها الداخلي المعقد، واعتماداً على صور الانحراف هذه تمكن العلماء من إعادة بناء هياكل جزيئية معقدة مثل تركيب الدنا (DNA) وتركيب العظام وغيرها.

تستخدم الأشعة السينية بشدة في المجالات الطبية المختلفة من أجل إجراء التنظير الشعاعي، أو التصوير الشعاعي، وفي المعالجة الشعاعية، إضافة لاستخداماتها الطبية السنية في تصوير الأسنان.

وحدات الإشعاع:

التعرّض - الرونتجن:

يعبّر التعرّض عن مقدار كمية التأين الذي تحدثه الأشعة السينية xأو الأشعة الغاماوية γ في الهواء ويقدر بالرونتجن (ورمزه R)، الذي يقابل إحداث $\times$ 1.61 1015 زوجاً من الأيونات في كل كيلو غرام من الهواء الجاف في الشرطين النظاميين التي تحمل شحنة كهربائية قدرها 4-10 $\times$ 2.58 كولوناً. أي إن الرونتجن يسبب تأين % 9-10 $\times$ 4 فقط من ذرات الهواء.

إن الطاقة الوسطية اللازمة لإحداث زوج إيوني في الهواء هي: 18-10$\times$ 5.4 جولاً، ولهذا فإن امتصاص الطاقة في الهواء المقابل لتعرض قدره (1 R) هو: $\times$ 1.61

1015$\times$ 5.4 $\times$ 10-18 = 8.68 $\times$ 10-3 J/kg

لا يجوز استخدام الرونتجن إلا علىالأشعة السينية والغاماوية وآثارها في الهواء.والنسج البشرية هي الوسط الهام عادة، وتوضّع الطاقة فيها أعلى غالباً منها في الهواء. ففي حالة أشعة غاما ذات الطاقات التي تصادف عادة (0.1 - 2 MeV) يساوي توضع الطاقة في النسيج المرافق لتعرض قدره 3-10 × 9.6(1 R) جول في كل كيلو غرام. ولقد أدخل مفهوم الجرعة الممتصة من الإشعاع للتغلب على هذه الصعوبات.

جرعة الإشعاع الممتصة – الغري والراد:

الجرعة الممتصة Absorbed Dose هي مقياس لتوضع الطاقة في أي وسط. وكان يعبر عن الجرعة الممتصة بالراد Radiation Absorbed Dose ويعرّف بأنه توضع الطاقة بمعدل 0.01 J/kg ولكن منذ عام 1975 أدخلت وحدة جديدة للجرعة الممتصة وهي الغري (GY) Gray لتكون من واحدات الجملة الدولية للوحدات وتعريفها:

1 Gy = 1 J/kg = 100 rad

نستنتج مما سبق أن (1 R) يعطي جرعة ممتصة مقدارها في الهواء:

8.69 × 10-3 / 0.01 = 0.869 rad

ومقدارها في النسج البشرية: 9.6 × 10-3/0.01 = 0.96 rad

ولهذا يكون للتعرض، مقدّراً بـ R، والجرعة الممتصة، مقدرة بالراد في كثير من الحالات القيمة نفسها تقريباً، ولنلاحظ أنه ينبغي دائماً ذكر الوسط الماص.

ومن الواضح أن تعرضاً قدره (1 R) يكافئ جرعة ممتصة في الهواء قدرها 8.69 m Gy (ميلي غري).

أما المعدل الزمني للجرعة (أو معدل الجرعة اختصاراً) فيساوي خارج قسمة الجرعة الممتصة على زمن امتصاصها. ويقدر هذا المعدلبـ غري/سنة ميلي غري /أسبوع، راد /ساعة ، راد/سنة.

الجرعة المكافئة – السيفرت والريم:

على الرغم من أن الغري (أو الراد) وحدة فيزيائية كبيرة الفائدة، فقد تبين أن جرعة ممتصة معينة من أنواع الإشعاع المختلفة لا تحدث بالضرورة الدرجة نفسها من الضرر في الجمل البيولوجية. فقد وجد مثلاً أن راد واحد من إشعاع ألفا يمكن أن يحدث الضرر البيولوجي الذي يحدثه 20 راداً من إشعاع غاما. فهذا الفرق في الفعالية البيولوجية الإشعاعية مختلفة للحصول على الجرعة الفعالة البيولوجية الكلية. ويكفي لهذا أن نضرب الجرعة الممتصة، من كل نوع من الإشعاع، بعامل النوعية Q الذي يعكس قدرة نوع معين من الإشعاع على إحداث الضرر والأذى. ويسمى الجداء المذكور الجرعة المكافئة وكان يعبر عنها بالريم Rad Equivalent for Man (Rem)

حيث:

الجرعة المكافئة (ريم) = الجرعة الممتصة (الراد) × عامل النوعية (Q)

وقد أدخلت وحدة جديدة للجرعة المكافئة وهي Sievert (Sv) عام 1979، لتكون من وحدات الجملة الدولية (SI) وتعريفها:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \times Q = 100 \text{ rad} \times Q = 100 \text{ rem}$$

وقد تبين أن قيمة عامل النوعية تتوقف على كثافة التأيين الذي يسببه الإشعاع، فمثلاً يولّد جسيم ألفا نحو عشرة ملايين زوج من الأيونات في كل سنتمتر من الأنسجة، بينما يولّد جسيم بيتا نحو خمسئة آلاف زوج في السنتمتر. ويسبب إشعاع غاماً تأييناً كثافته مماثلة لتلك الناجمة عن إشعاع بيتا. ولأن أنواع الإشعاع الأخرى كافة تقارن بأشعة غامة، فقد اتخذ عامل النوعية Q لإشعاع غاما مساوياً الواحد ومثل ذلك لأشعة بيتا. وعلى هذا يكون عامل النوعية لأشعة ألفا مساوياً 20. أما Q للنترونات فيتوقف على طاقتها وتؤخذ عادة القيمة 2.3 في حالة النترونات فيتوقف على طاقتها وتؤخذ عادة القيمة 2.3 في حالة النترونات الحرارية (أي التي تقع طاقتها في المجال $0 \leq En \leq$ 0.4 MeV). وتؤخذ القيمة 10 للنترونات السريعة

1 ≈ En (MeV).

الأخطار البيولوجية للإشعاع:

تخرب الطاقة الممتصة من الإشعاع المؤين، لدى مروره عبر المادة، الوسط بإحداث تغيرات جزيئية أو تغيير في البنية البلورية. ويتعلق مقدار التخريب الناتج بطبيعة المادة الماصة وطاقة الجسيم وشدة الإشعاع. وتكون الآثار عظيمة في الجزيئات العضوية المعقدة. ويتوقف مقدار التخريب الحادث فيها على الجرعة ومعدل الجرعة. ويجب عند النظر في أخطار الإشعاع على العضوية الحية التمييز بين نوعين من الأضرار:

الأضرار المرضية: وهي تؤدي إلى الموت إذا كانت شدتها كافية.

الأضرار الوراثية: فالضرر الذي يصيب الأعضاء التناسلية قد لا يؤثر في الجسم نفسه، لكنه يضر الأجيال القادمة. فالتشعيع المتواصل لسائر السكان، ولو كان ضعيفاً، يمكن أن يؤدي إلى انقراضهم في المستقبل ويمكن لجرعة قدرها 1 Sv = 100 rem أن تحدث آثاراً مميتة فيما بعد، إذا شملت الجسم كله وذلك عن طريق إحداث فقر الدم والسرطان.

هذا وإن آثار الإشعاع في الأعضاء التناسلية أخطر بكثير لأن هذه الآثار تجميعية، بمعنى أن جرعة معينة تحدث الضرر نفسه سواء أخذت دفعة واحدة أو موزعة على عدة سنين. عندما يمر الإشعاع عبر الخلايا الجنسية فإن يؤثر في صبغيات (كروموزومات) نواة الخلية محدثاً تغيرات يمكن أن تتجلى على شكل طفرات (تغيرات فجائية) في النسل. وتكاد تكون هذه الطفرات كلها مؤذية.

إننا جميعاً نتعرض في الأحوال العادية إلى طفرات طبيعية تعود إلى حد كبير إلى الحركة الاهتزازية لجزيئات أجسامنا وإلى النشاط الإشعاعي وإلى الأشعة الكونية. وتعدّ الجرعة الإجمالية من الإشعاع التي يتلقاها الإنسان منذ ولادته حتى سن الأربعين مساوية

4.4 rem =44 m Sv .ويتضاعف هذا الرقم تقريباً إذا أضيفت إليه الجرعات الإضافية التي يتلقاها المرء عند طبيب الأسنان أو طبيب الأشعة. فالصورة الشعاعية تعادل جرعة موضعية تساوي **0.5 – 2 m Sv (0.05 - 0.2 rem)** والصورة الشعاعية السنية **(4 – 5 rem) 40 – 50 m Sv** .

ومع ذلك يسمح في حالات الطوارئ بأخذ جرعة لا تتجاوز **100 m Sv = 10 rem** لإنقاذ تجهيزات ثمينة، وجرعات لا تتجاوز **1 m Sv = 10 rem** لإنقاذ حياة إنسان. ويقصد بهذين الرقمين تشعيع الجسم بكامله. أما إذا كانت الجرعة موضعية جداً لتخريب الورم الخبيث فتقع قيمتها في المجال **100 Sv – 5**.

لنذكر بهذه المناسبة أن الميناء المشع لساعة اليد يعطي وحده 380 ميلي شيفرت/سنة (38 ريم/سنة) ولكن هذه الجرعة موضعية جداً.

ولنذكر أن دفاع الجسم البشري ضد إشعاع المواد النشيطة إشعاعياً أضعف من دفاعه ضد الإشعاعات الأخرى . فمثلاً 600 ميكرو سيفت/أسبوعياً (60 ميلي ريم/أسبوعياً) من الأشعة السينية تحدث ضرراً للجسم الذي يتعرض لها برغم أنها تكافئ استطاعة قدرها (8-10) واطاً، بينما يستطيع الإنسان أن يتلقى دون خطر، بكامل جسم وطول حياته، واطاً كاملاً من الإشعاع الشمسي.

ويبين الجدول الآتي مدى الإشعاعات النووية في الهواء والأنسجة الحية:

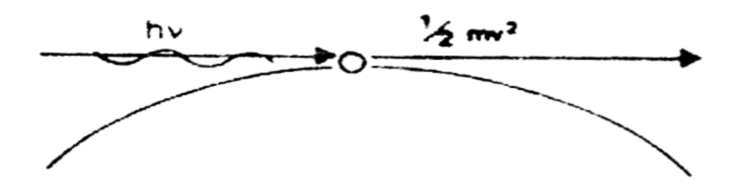
الإشعاع	المدى في الهواء	المدة في الأنسجة
ألفا	3 cm	0.04 mm
بيتا	300 cm	5 mm
السينية وغاما	كبير جداً	تعبر الجسم
نترونات بطيئة	كبير جداً	15 cm
نترونات سريعة	كبير جداً	تعبر الجسم

يتبين من هذا الجدول أن أشعة ألفا تمتص بسهولة كبيرة. ويكفي عادة لإيقافها قطعة رقيقة من الورق، ولهذا فإن الوقاية من أشعة ألفا ليست مشكلة. أما أشعة بيتا فهي أشد نفوذاً من ألفا وتتطلب الوقاية منها (فيما يخص الطاقات 10 MeV - 1) استخدام صفائح من اللدائن تصل ثخانتها إلى (1cm) كي تمتصها امتصاصاً تاماً. إن سهولة الوقاية من أشعة بيتا تعطي انطباعاً بأنها ليست خطرة خطورة أشعة غاما أو النترونات، ولهذا كثيراً ما تحمل منابع بيتا، الكبيرة والمكشوفة، باليد مباشرة، وهذا عمل خطر جداً: فمعدل الجرعة الممتصة على مسافة 3 mm من منبع بيتا نموذجي شدته 37 ميغا بكرل (البكرل Becquerel هي واحدة التفكك الإشعاعي وتعبر عن تفكك واحدة/ثانية) = ا ميلي كوري (1m Ci = 37 MBq)هو تقريباً 30 غري/ساعة (300 راد/ساعة).

أما الأشعة السينية وغاما فالوقاية التامة منها غير ممكنة عملياً، ومع ذلك يمكن تخفيض الجرعات الناجمة عنها باستعمال صفائح رصاصية ثخينة، فالكوبالت - 30 المشع يصدر أشعة طاقتهاMeV 1.17 وكذلك 1.33 MeV وتهبط شدة هذه الأشعة إلى النصف بعد اختراقها صفيحة من الرصاص ثخنها 1.25 سنتمتراً.

امتصاص الأشعة السينية وتخامدها:

يحدث الامتصاص Absorption عند التحول الكامل للطاقة الإشعاعية (hV) إلى طاقة حركية (1/2 mV2) ويمكن أن تكون نتائجه تأيين الجزيئات التي وقع عليها التأثير الكهرضوئي، الشكل (7-17).



شكل (7-17)

بغضّ النظر عما يجري من نقصان متناسب مع مربع لمساحة، فإن فرق الشدة (عدد الفوتونات العابرة في واحدة السطح خلال ثانية واحدة) بين حزمة الأشعة السينية الواردة والقسم النافذ نحو المستقبل (الصورة)، لا يعود لامتصاص الأشعة عبر الجسم المتعرض فحسب بل يتعداه إلى خسارة قسم آخر لا يَعبر العينة ولا يُمتص وإنما ينتشر بسببه وهذا ما يدعى بتخميد Attenuation (أو تخفيف) حزمة الأشعة بالانتشار. وبناءً على ذلك يمكننا القول:

الامتصاص = الامتصاص الحقيقي (فعل كهرضوئي) + التخميد بالانتشار (التخفيف)

حالة إشعاع أحادي اللون (أحادي الطول الموجي):

بغض النظر عن تناقص شدة الإشعاع مع المسافة، فإننا نلاحظ تجريبياً أن شدة حزمة الأشعة السينية التي تجتاز مرشحات متماثلة تنقص، وبالنسبة نفسها بعد مرورها عبر كل مرشح.

ويعطى التناقص الأسي على النحو التالي:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad (7-44)$$

حيث:

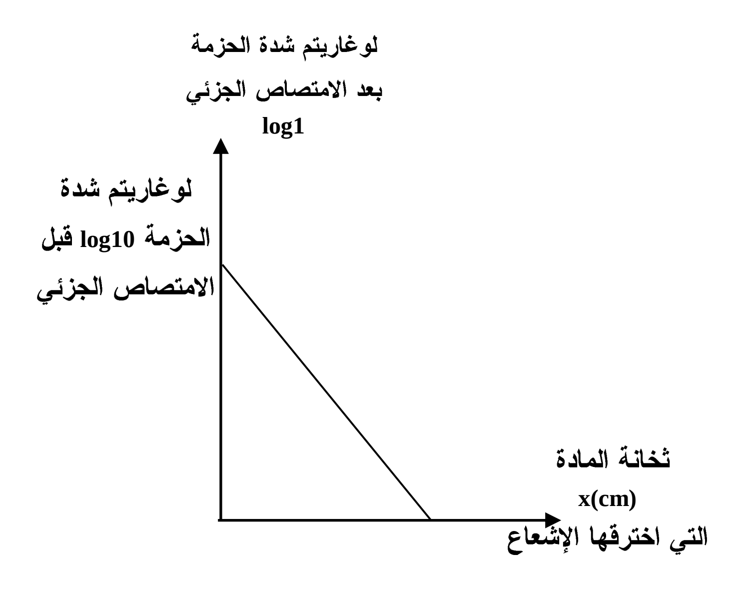
I- شدة الحزمة وقد قيست بعد امتصاص جزئي.

I0- شدة الحزمة قبل الامتصاص.

x- ثخن المادة التي اجتازها الإشعاع (مقدراً بالسنتمتر).

μ - عامل الامتصاص الخطي الكلي من أجل المادة المُعطاة.

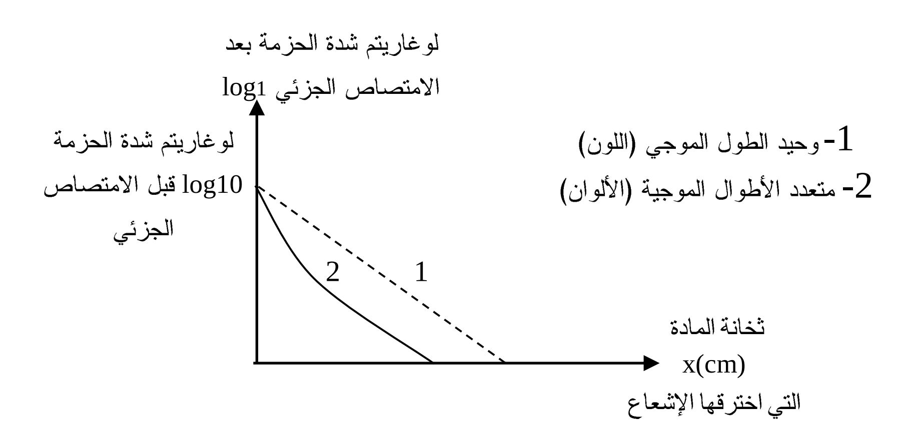
ويحدد العاملات μ ، x درجة الامتصاص. ويظهر الشكل (7-18) تغيّر الامتصاص بدلالة ثخن المادة التي اجتازها الإشعاع.



الشكل (7-18)

حالة إشعاع متعدد اللون (متعدد الطول الموجي):

يتغير المنحني في حالة الإشعاع متعدد اللون، الشكل (7-19). ويزداد هذا التغير كلما زادت المسافة المخترقة، إذ تتوافق الأمواج الأكثر طولاً والأضعف طاقة الأمر الذي يؤدي إلى اختفاء هذه الأمواج أولاً وبذلك تتبدل مواصفات الطيف.



الشكل (7-19)

ثخانة امتصاص نصف الإشعاع:

وهي عبارة عن ثخانة المادة التي تُنقص شدة الإشعاع الوارد عليها إلى النصف(أو بمعنى آخر ثخن المادة التي يمتص نصف الإشعاع الوارد عليه).

$$I_1 = \frac{I_0}{2}$$

ويكون هذا الثخن مميزاً للشعاع المحلل.

معادل الامتصاص الخطي الكلي، (μ):

من العلاقة: $I = I_0 e^{\mu x}$

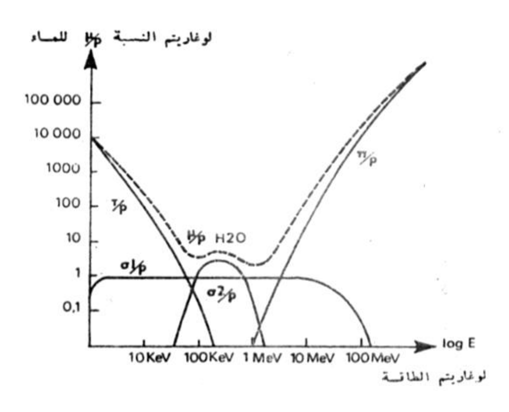
نجد:

$$\mu(cm^{-1}) = \frac{Log\, I_0 - Log\, I}{x\,(cm)} \qquad (7-45)$$

وهذا المعامل الخطي الكلي للامتصاص يبدي سيئات تعود إلى ارتباطه بشكل خاص بالشروط الفيزيائية السائدة من حرارة وضغط.

تبدل معامل الامتصاص الكتلي الكلي بدلالة طاقة الإشعاع:

لتوضيح ذلك نأخذ معامل الامتصاص الكتلي الكلي $(\frac{\mu}{\rho})$ **للماء، وذلك لأن الماء يؤلف قرابة 70% من مكونات الأنسجة الحيّة، و الامتصاص عبر هذه الأنسجة مشابهاً للامتصاص من خلال الماء، الشكل (7-20).**



الشكل (7-20) تغير معامل الامتصاص الكتلي بدلالة طاقة الإشعاع الوارد.

يكون التخامد بفعل تومسون $(\frac{\sigma_1}{\rho})$ مستمراً بمعدل ضعيف في كل مجالات الطيف ويختفي في الطاقات الأعلى من 100 ميغا الكترون فولط.

لا يلاحظ التخامد بفعل كومبتون $(\frac{\sigma_2}{\rho})$ إلا في مجالات الطاقة المحصورة ما بين 100 كيلو الكترون فولت و 1 ميغا الكتروناً فولتاً.

ويكون الامتصاص بالفلورة $(\frac{\tau}{\rho})$ أكبر ما يمكن في الطاقات الدنيا، لكنه يتناقص بسرعة حتى يختفي تماماً عند القيمة 100 كيلو المترون فولط.

أما بالنسبة إلى الامتصاص بالتحول المادي $(\frac{\pi}{\rho})$ فإنه يظهر ابتداء من 1.02 ميغا الكتروناً فولطاً ليصبح مسطيراً عند الطاقات المتزايدة.

هذا وتظهر دراسة المنحني السابق أنه في مجال الطاقة المستعملة في التشخيص الشعاعي

(1-100 كيلو الكترون فولط) يعزى الامتصاص بقسمه الأعظمي إلى التأثير الضوكهربي $(\frac{\tau}{\rho})$ وبنسب أقل إلى تأثيرات $(\frac{\sigma_1}{\rho})$ تومسون و $(\frac{\sigma_2}{\rho})$ كومبتون.

النظائر المشعة :

مقدمة :

لقد ساهم استخدام النظائر المشعة مساهمة فعالة جداً في تقدم العلوم التجريبية ويعود الفضل للباحث C . de hevesy الذي استعمل لاول مرة النظير المشع الطبيعي 212pb لاثبات دخول الرصاص الى العضوية النباتية، ولقد توالت بعد هذه التجربة تطبيقات لا يمكن حصرها لهذه النظائر طبيعية كانت ام اصطناعية في مخابر البحث الحيوي والطبي الدوائي .

أن الجزيئات الحاوية عنصراً مشعاً تصدر اشعاعات يمكن بملاحقتها وكشفها تتبع حركة هذه الجزئيات ومسيرها داخل البدن الحي ومعرفة كل ما يطرأ عليها من تحولات ، بالاضافة الى معرفة ألية امتصاصها وإطراحها . ومن ذلك كله يفهم كيف أن استعمال العناصر المشعة يشكل طريقة مثلى لدراسة استقلاب لمواد الغذائية والدوائية ومعرفة الية الظواهر الحيوية المعقدة . كما تستخدم بعض هذه العناصر عناصر تشخيصية لبعض الامراض أو عوامل دوائية تعالج بعضها الاخر .

أما الطرق التحليلية فلقد استفادت هي الأخرى فائدة كبيرة من النظائر باستخدامها في مراقبة الطرق التحليلية القديمة وبادخالها طرق تحليلية جديدة تمتاز بدقتها الكبيرة وحساسيتها الخارقة ، ومن هذه الطرق نذكر طريقة التمديد النظائري وطريقة التنشيط.

نشير الى أن العمل بهذه العناصر يستلزم اتباع قوانين خاصة وأصول معينة تحقق أخذ كل الاحتياطات الضرورية لحماية العاملين بها وعدم تعرضهم لضرر الاشعاعات .

تتألف العناصر والذرات من نواة مشحونة بشحنة إيجابية وتتمركز فيها تقريباً كتلة العناصر ، وهذه النواة محاطة بغيمة إلكترونية تعادل بشحنتها الكهربائية (حالة الذرات المعتدلة) شحنة النواة .

إن خصائص الذرة الكيميائية تتعلق بالألكترونات المحيطية في حين أن تفاعلاتها وخصائصها النووية تعود أن النواة المركزية .

تتألف النواة من نوعين من الدقائق هي البروتونات والنترونات تقرب كتلة كل منها من الأخرى . تحمل البروتونات شحنة كهربائية موجبة بينما لا تحمل النترونات اية شحنة كهربائية .

يتميز كل عنصر بثلاثة أعداد هي :

العدد الذري ويرمز له بـ Z وهو يمثل عدد البروتونات أو شحنة النواة وهو مميز لكل عنصر .

العدد الكتلي ويرمز له بـ A ويمثل عدد الدقائق الكلي للنواة وهو يوافق تقريباً الوزن الذري للعنصر .

عدد النترونات ويرمز له بـ **Hélium** كما يلي : 42H

يدعيان العنصرين الحاملين العدد الذري نفسه (أي الخصائص الكيماوية نفسها) ، وعدد كتلي مختلف بالنظائر فمثلاً يوجد للكلور نظيران هما(17 بروتوناً + 20 نتروناً 3717CI) و (17 بروتوناً + 18 نتروناً) 3517 CI .

ترتبط النترونات والبروتونات داخل النواة بقوى ارتباط نووية توازي قوى التدافع الكهربي ما بين البروتونات (قوى كولون) فاذا لم تكن هذه الرابطة متوازنة تحاول النواة تغيير وضعها بشكل تصل فيه الى الثبات وذلك باصدارها اشعاعات مختلفة (الفا ∝ ، وبيتا ß ، وغاما γ) وتدعى هذه الحادثة بالنشاط الاشعاعي Radioactivité ، ويترافق هذا التحول بتولد قدرة وبتشكل ذرة جديدة ذات كتلة أصغر من الاولى وصفات فيزيائية وكيميائية مختلفة ، كما يمكن لهذه الذرات المتولدة الجديدة ان تتفكك مجدداً حتى يتم الحصول على مركب او عنصر ثابت غير مشع .

أن كل العناصر الطبيعية ذوات العدد الذري الاكبر من 83 والكتلة الذرية الأكبر من 209 هي عناصر غير ثابتة ومشعة وتصنف جميعها بثلاث فصائل او عائلات :

عائلة اليورانيوم (238) ، عائلة اليورانيوم (235) ،(الاكتينيوم Actinium) ، عائلة التوريوم (232) Thorium وجميعها تعطي في ختام تفكيكها نظائر ثابة للرصاص هي 206 ، 207 ، 208 .

من الممكن الحصول على نظائر مشعة اصطناعية وذلك بحقن أو إدخال بروتون أو نترون واحد او اكثر داخل النواة الثابة لاحد العناصر فيتكون بذلك عنصر غير ثابت له العدد الذري Z نفسه للعنصر الاصلي ولكنه يختلف عنه بكتلته ويبدأ هو االآخر بإصدار كمية من الإشعاعات حتى يعود إلى تركيبه الثابت الاول .

ولا بد من الاشارة الى ان العناصر المشعة اهم ما يميزها هو قدرة اشعاعها وسرعة تفككها .

قوانين التفكك الاشعاعي ووحداته

إن التفكك الاشعاعي ظاهرة مرتبطة بالاحصاء حيث تعطي لكل نواة مشعة احتمالية تفككات معينة بوحدة الزمن وتميز العنصر المشع المرينط بها، إن هذه الاحتمالية او بالاحرى سرعة تفكك العنصر المشع مستقلة تماماً عن العوامل الخارجية كالحرارة والضغط وغير ذلك .... إن عدد النرات او النوى المتفككة بوحدة الزمن يتناسب مع عدد النوى أو الذرات N الموجود باللحظة t .

وتكون سرعة التفكك : $\frac{dn}{dt} = - \lambda N$ (46-7)

حيث λ هي ثابة التفكك الاشعاعي، وهي مميزة لكل عنصر . ومن العلاقة السابقة

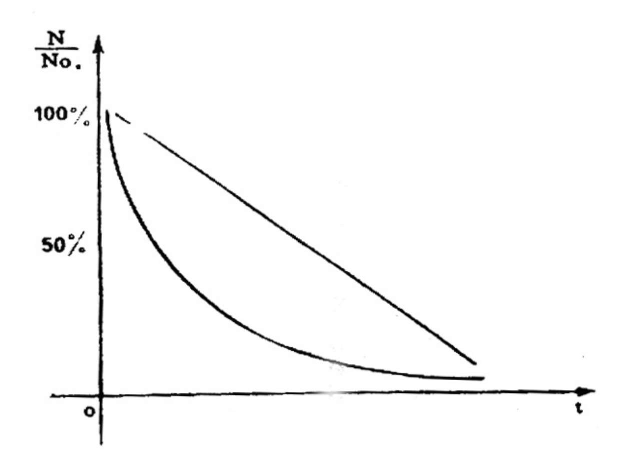
نتوصل إلى : $\frac{dN}{N} = - \lambda dt$

وتكامل هذه القيمة يقودنا إلى : $\frac{N}{N_0} = e^{- \lambda t}$

أو: $N = N_0 e^{- \lambda t}$ (47-7)

حيث N0 هو عدد النوى أو الذرات باللحظة N,t=0عددها باللحظة t

إذا رسمنا الخط البياني الممثل لتحولات النشاط الاشعاعي (عدد التفككات في الدقيقة) بالنسبة ٬لى الزمن حصلنا على منحني في حين أننا عندما رسمنا هذا الخط بأخذنا على محور العينات لوغاريتم النشاط الاشعاعي وعلى محور السينات الزمن حصلنا على خط مستقيم انظر الشكل (7-21) .



الشكل (7-21)

يستعمل تعبير زمن نصف العمر أو الدور وهو الزمن اللازم لكي تنقص عدد الذرات الموجودة في الاصل الى النصف . وإن هذا الزمن او الدور يتراوح ما بين أجزاء الثانية ومليارات السنين وهو مميز للعنصر المشع . ولحساب هذه القيمة نبدل في المعادلة السابقة $\frac{N}{N_O}$ بـ $\frac{1}{2}$ وذلك في اللحظة t =T فنجد :

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$$

$$\log 2 = \lambda T$$

ومنه : $0,693 = \lambda T$

$$T = \frac{0,693}{\lambda}$$

وتكون ثابة التفكك في هذه الحالة معادلة لـ :

$$\lambda = \frac{0,693}{T}$$

وبإبدال قيمتها في المعادلة الأصلية نصل الى الدستور العام لتناقص الاشعاع :

$$N = NO \, . \, e^{\frac{0,693}{T}} \quad (48\text{-}7)t$$

أما العمر المتوسط للعنصر المشع او يرمز له بـ Tm فهو بالتعريف :

$$Tm = \frac{I}{\lambda}$$

ولأن : $\lambda = \frac{0,693}{T}$

إن وحدة النشاط الاشعاعي او الفعالة النووية هي الكوري **Curie** ويرمز له بـ **c** .ولقد كان تعريفه في الماضي يتلخص بكونها كمية الرادون **Radon** الموجودة في حالة توازن مع غرام واحد من الراديوم **Radium** أما اليوم فتعرف كما يلي :

الكوري هي كمية المادة المشعة التي تتفكك بنظم قدره 3و7 × 10 10 تفكك بالثانية . وبذلك أمكن تطبيق هذه الوحدة على كل العناصر المشعة . لهذه الوحدة اجزاء هي :

الميللي كوري ويرمز له بـ **Mc Millicurie**

والميكرو كوري ويرمز له بـ (μ **C**) **Microcurie**

والميللي ميكروكوري ويرمز له بـ **C** μ **m Millimicrocurie**

وهناك وحدة أخرى مستعملة في هذا المجال هي الرزرفورد **Rutherford** وتقابل كمية المادة المشعة التي تتفكك بنظم قدره 10 6 تفكك بالثانية ومن اجزائها نذكر الميللي رزرفورد والميكرورزرفورد .

طبيعة الإشعاعات وصفاتـها :

إن القدرة التي تصدر بفعلها الإشعاعات تقاس بما يدعى الإلكترون- فولت Electron- Volt (eV) والالكترون- فولت بالتعريف هو القدرة التي يكتسبها إلكترون واحد عندما يتحرك بحرية داخل حقل كهربائي ناتج عن فرق بالطاقة قدرة فولت واحد أو بمعنى آخر هو القدرة الحركية التي يكتسبها إلكترون واحد في حالة الراحة بفعل فرق بالطاقة قدره فولت واحد. ولأن القدرة المتمثلة بالإلكترون- فولت صغيرة نسبياً فيستعمل أضعافها مثل الكيلو إلكترون- فولت Kilo electron- Volt KeV (eV 310) والمغا إلكترون- فولت MeV وتعادل eV106.

الإشعاعات من نوع ألفا α :

وهي أثقل الدقائق الصادرة عن نواة العنصر، ويتم خلال إصدارها انخفاض بالعدد الذري بمقدار 2 وبالعدد الكلي بمقدار 4 (إصدار نواة الهيلوم) فمثلاً:

$$^{238}_{92}U \rightarrow \; ^{234}_{90}Th + \; ^{4}_{2}He$$
$$^{232}_{90}Th \rightarrow \; ^{228}_{88}Ra + \; ^{4}_{2}He$$

$$^{A}_{Z}X \rightarrow \; ^{A-4}_{Z-2}X + \; ^{4}_{2}He \quad + \quad energe$$

وبصورة عامة:

إن للدقائق ألفا قدرة كبيرة نسبياً مابين 2 إلى 9 ميغا الكترون- فولت MeV مما يكسبها سرعة شديدة وهي تستطيع أن تقطع في الهواء بدرجة 15° م وتحت ضغط جوي واحد مسافة تصل إلى 9 سم.

الإشعاعات من نوع بتا β:

يجتمع تحت هذا الاسم ثلاثة أنواع من التفككات تصدر كل منها إشعاعات خاصة بها وهي إشعاعات بتا السالبة -β ، أو مايدعى بالنه غاتون Negaton ، وشعاعات بتا الموجبة +β أو مايدعى بالبوزيتون Positon، وأخيراً مايوافق التقاط الكترون مداري K. وسوف نخص بالذكر الأولى والثانية فقط.

إصدار إشعاعات بتا السالبة -β :

يتم في هذه الحالة ازدياد بالعدد الجوهري للعنصر بمقدار (1) ولايتأثر عدده الكتلي، ومثال ذلك:

$$ {}^{228}_{88}Ra \rightarrow {}^{2284}_{892}Ac + e^{0}_{-1} $$

أو بصورة عامة:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}X + e^{0}_{-1} + energe $$

إن الإشعاعات بتا السالبة هي في حقيقتها الكترون مزوَّد بسرعة كبيرة جداً ينطلق من النواة عندما يتحول فيها نترون إلى بروتون، وبدراسة هذا الإصدار بدقة لوحظ، يترافق بضياع قدروي اقترح W. Pouli لتعليله أن يقبل بأن إصدار حقائق بتا السالبة يترافق بإصدار دقائق جديدة تدعى نوترينو Neutrino معتدلة كهربائياً ولا كتلة لها تقريباً، ولذلك يمثل تحول النترون إلى بروتون مع إصدار الدقائق بتا السالبة بمايلي:

$$ {}_{0}^{1}n \rightarrow P + {}_{1}\beta + {}_{0}^{0}n $$

ومن خصائص الدقائق بتا السالبة أو النغاتون نذكر اجتيازها لمسافة تبلغ عدة أمتار في الهواء.

إصدار إشعاعات بتا الموجبة +β :

إن إصدار الإشعاعات بتا الموجبة أو البوزيتون Positon يحصل خاصة في حالة كون عدد البروتونات في النواة أكبر بكثير من عدد النترونات مما يخلق عدم ثبات تسعى النواة للتخلص منه بتحويلها البروتون إلى نترون وذلك باطلاق شحنة موجبة هي إشعاعات بتا الموجبة أو البوزيتون، كما يترافق هذا الإصدار بإصدار نوتروينو ومن ذلك يتضح أن العدد الكتلي يبقى ثابتاً وتنقص شحنة النواة الكهربائية بمقدار شحنة واحدة:

$$ {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}X + {}_{+1}^{0}\beta $$

ويمثل تحول البروتون إلى نترون بما يلي:

$$ {}_{+1}^{1}P \rightarrow {}_{0}^{1}n + {}_{+1}^{0}\beta + {}_{0}^{0}n $$

إن الفرق مابين النغاتون، والبوزيتون هو اختلافهما بالشحنة فقط ويترجم ذلك باختلاف جهة انحراف كل منهما داخل حقل كهرطيسي خارجي.

إذا اجتمعت هذه الدقائق (بتا السالبة والموجبة) فإنها تتحد مع بعضها بسرعة وتتعدل شحناتها مما يؤدي إلى إصدار إشعاعات غما γ.

الإشعاعات من نوع غاما γ:

إن الإشعاعات من نوع غاما ذات طبيعة كهرطيسية وطول موجة صغير يقربها كثيراً من الأشعة السينية X وعند إصدارها لايحصل عموماً أي تغير في العدد الكتلي أو الذري:

$$ {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z}^{A}X + \gamma $$

ولأن هذه الإشعاعات لاتحمل شحنة كهربائية فهي لاتغيِّر من اتجاهها عند تعرضها لحقل كهرطيسي، ومن صفاتها نذكر قدرتها النفوذية الكبيرة جداً.

إن إصدار الإشعاعات غما يتم عموماً عند كل التحولات المترافقة بتصدع نووي وفي التحولات المترافقة باكتساب نترون أو إصدار إشعاعات بيتا السالبة أو بيتا الموجبة أو حتى إصدار الإشعاعات ألفا. فمثلاً عند إصدار الإشعاعات بيتا المختلفة تكون النواة بحالة تنشيط معينة ففي أثناء عودتها إلى حالتها الأساسية تنطلق إشعاعات غاما.

العناصر المشعة الاصطناعية -التفاعلات النووية :

إن تفاعلات إصدار الإشعاعات التي ذكرناها آنفاً هي أمثلة على الإشعاع الطبيعي توجد بجانبها تفاعلات أخرى نستطيع بوساطتها الحصول على عناصر اشعاعية اصطناعية، وتدعى هذه التفاعلات بتفاعلات الرجم.

إن التفاعلات النووية لاتتدخل فيها إلا نواة العنصر وذلك بعكس التفاعلات الكيميائية والتي تتدخل فيها الإلكترونات المحيطية فيها فقط، ومن الممكن أن يتم تفاعل نووي عند رجم النواة بدقيقة أو جزيئة نووية وبكا أن النواة تكون مشحونة بشحنة إيجابية تعود إلى بروتوناتها لذلك فإن الدقائق الراجمة تلاقي صعوبة في اختراقالحاجز الكهربي المحيط بالنواة والذي يعاكس طبعاً اقتراب الدقائق ذوات الشحنة الموجبة (البروتونات)

ولهذا وفي مثل هذه الأحوال لابد من تزويد الدقائق الراجمة بقدرة حركية كافية تمكنها من التغلب على هذا الحاجز ودخول النواة، هذا من ناحية ومن ناحية أخرى نجد أنه (بسبب صغر حجم النواة بالنسبة إلى حجم الذرة كلها) هناك حاجة ماسة لاستعمال عدد كبير من الدقائق الراجمة بغية إكثار صدف التصادم بينها وبين النواة المعرضة للرجم. وتجدر الإشارة هنا إلى أن النترونات المستعملة بصفتها عوامل رجم لاتلاقي أية صعوبة في اقترابها من النواة وذلك لاعتدال شحنتها الكهربائية وهذه الخاصة تجعل من النترونات عوامل رجم ذات أهمية خاصة في هذا المجال.

قد تكون الدقائق الراجمة ذات شحنة كهربائية مثل الإلكترونات والبروتونات والدوترونات Deuterons وإشعاعات ألفا وقد تكون عديمة أو معتدلة الشحنة مثل النترونات وإشعاعات غاما.

تستخدم لزيادة سرعة الدقائق الراجمة ثلاثة أنواع من المسرّعات:

السيكلوترون Cyclotron وهو يزيد من سرعة الدقائق الثقيلة مثل النوترونات والبروتونات ودقائق ألفا.

البيتاترون Betatron ويزيد سرعة إلكترونات.

السينكروتون Synchoroton ويزيد سرعة الدقائق كبيرة القدرة مثل الدقائق غما.

لقد اكتشف أول تفاعل نووي من قبل رذرفورد Rutherford عام 1919 وذلك عند رجم الآزوت بدقائق آلفا الصادرة عن الراديوم مما أدى إلى إصدار بروتون وتشكل ذرة أوكسجين كتلتها 17:

$${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{1}He \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$$

بعد هذا توالت اكتشافات تفاعلات الرجم وكشفت خواصها وشروط القيام بها ومدى فوائدها في إعطاء النظائر.

تفاعلات الرجم:

الرجم بالنترونات:

تمثل النترونات كما مرَّ معنا عوامل رجم جيدة وذلك لخلوها من الشحنة الكهربائية وبالتالي عدم تأثيرها بشحنات العنصر (الكترونات المحيط وبروتونات النواة) مما يسمح لها بالاقتراب من النواة واختراقها.

يتم هذا الرجم بصور عدة نذكر منها:

تفاعل نترون- غما (n, γ) :

ويتم فيه تثبيت نترون من قبل النواة المعرضة للرجم وبذلك يزداد عددها الكتلي ويبقى عددها الذري كما هو:

$$ {}_{Z}^{A}X \xrightarrow[{}_{0}^{1}n,\gamma]{} {}_{Z}^{A+1}X $$

تفاعلات نترون- نترون (n, n) ونترون- مضاعف نترون (n, 2n):

حيث يتم بعد التقاط نترون الرجم من قبل النواة إصدار نترون واحد أو أكثر:

$$ {}_{Z}^{A}X \xrightarrow[{}_{0}^{1}n,2\,{}_{0}^{1}n]{} {}_{Z}^{A-1}X $$

وكمثال على ذلك نذكر:

$$ {}_{15}^{31}p + {}_{0}^{1}n \longrightarrow {}_{15}^{30}p + 2\,{}_{0}^{1}n + energe $$

تفاعل نترون- بروتون (n, p)، نترون- ألفا (n, α) ... ألخ:

حيث يتم فيها بعد التقاط نترون الرجم من قبل النواة إصدار واحدة أو عدة دقائق مشحونة.

الرجم بالبروتونات:

ونذكر منها تفاعلات البروتون- نترون (p, n) وتفاعلات البروتون- ألفا (p, α) وليس لها قيمة كبيرة في إعطاء النظائر.

الرجم بالدوترونات Deuterons:

نذكر منها تفاعلات الدوترون- آلفا (d, α) وتفاعلات الدوترون- نترون (d,n) وهي أهمها لقدرتها على أعطاء النظائر:

$$ {}_{Z}^{A}X \xrightarrow[d,p]{} {}_{Z}^{A+1}X $$

وكمثال نذكر تشكل النحاس النظير $^{64}_{29}Cu$ من النحاس $^{63}_{29}Cu$.

الرجم بالدقائق آلفا:

نذكر منها تفاعلات آلفا- بروتون (α , P) وتفاعلات ألفا نترون (α , n) وتفاعلات آلفا- مضاعف النترون (α , 2n) وليس لها أية أهمية في تكوين النظائر.

ونشير إلى أن أهم التفاعلات السابقة في توليد النظائر التفاعلات الثلاثة التالية:

نترون- غاما (n, γ) ونترون- مضاعف النترون (n, 2n) ودوترون- بروتون(d, p).

أجهزة قياس النشاط الإشعاعي:

تمتد أجهزة قياس النشاط الإشعاعي إلى تحري خصائص هذه الأشعة سواء منها المشرِّد للغازات أو المحدث للفلورة أو التألق.

لدقائق ألفا وبتا قدرة مشردة للغازات كبيرة حتى عن بعد وذلك بسبب قوى التجاذب أو التنافر مابين هذه الدقائق والإلكترونات المحيطة بالنواة مما يؤدي إلى خروج الكترون من مدار محيطي وحدوث التشرد وبالتالي تكوّن شارجبات وشارسبات أما فعل الأشعة غما المشرد فلا يفسر إلا باصطدامها بالذرات مباشرة اصطداماً يتولد عنه حدوث التشرد.

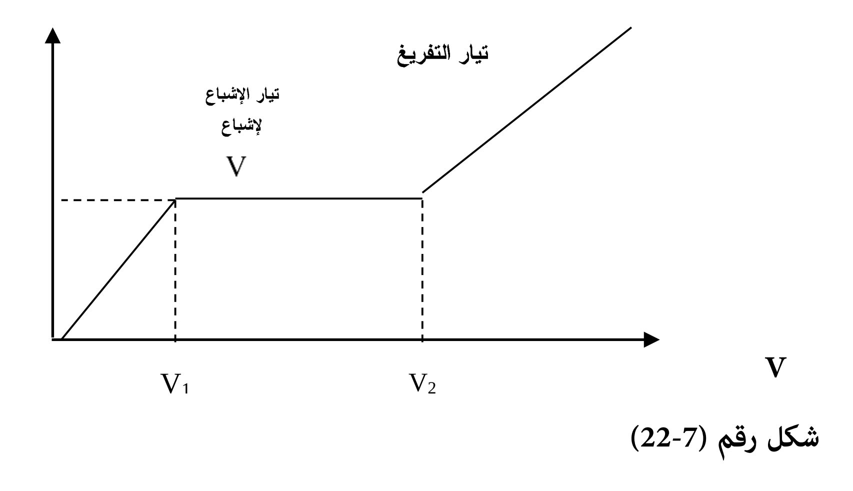
تشرد الغازات:

إن قياس شدة تشرد غاز ما بفعل الإشعاعات يمكنه أن يخبرنا بطريق غير مباشر عن مدى قوة هذه الإشعاعات التي أحدثته، فإذا كان لدينا قطبان مناسبان وطبقنا عليهما فرقاً في الطاقة معيناً ووضعنا بينهما غازاً قابلاً للتشرد نجد أنه عند حدوث التشرد الغازي تتجه الشوارد المتكونة نحو الأقطاب ويتولد نتيجة لحركة الشوارد هذه تيار كهربائي يدعى بتيار التشرد **Courant d'ionisation** يمكن قياس شدته ومعرفتها.

لنفرض الآن أنه لا يوجد أي فرق بالتوتر مابين القطبين ولنفرض أيضاً إن الإشعاعات المشردة موجودة فبمثل هذه الأحوال لايمكن أن يزداد التشرد إلى ما لانهاية وذلك بسبب حدوث اتحاد جديد مابين الشوارد المتولدة إلى أن يتم الحصول على حالة توازن يكون فيها عدد الشوارد المتولدة معادلاً عدد الشوارد المتحدة.

لنتصور الآن أننا طبقنا فرق توتر متزايداً على القطبين وبأن الإشعاعات المشردة موجودة فيتم ارتحال الشوارد ومرور التيار الكهربائي ونصل بزيادة فرق التوتر أو الكمون المطبق إلى درجة يقف معها أي اتحاد مابين الشوارد المتشكلة وتصل جميعها إلى الأقطاب ولاتؤدي زيادة فرق التوتر المطبق لحد معين بعدها أي زيادة في التيار المقيس، وهذه اللحظة يصل فيها التيار إلى حالة الإشباع ويدعى حينها بتيار الإشباع **Courant de Saturation**.

فإذا زدنا فرق التوتر إلى فوق الحدّ الأول وأعطيناه قيمة كبيرة فإن الشوارد الحاصلة نفسها وخصوصاً منها السالبة وبسبب اكتسابها لسرعة عظيمة جداً تصبح قادرة على إحداث تشرد عن طريق التصادم فيحدث تفريغ كهربائي جديد مولد لتيار كهربائي مختلف عن التيار الأول يدعى بتيار التفريغ.



شكل رقم (7-22)

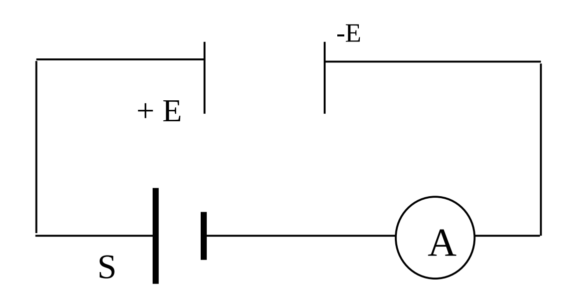
إن قياس تيار الإشباع هو مبدأ غرف التشرد في حين أن قياس تيار التفريغ هو عداد غيفر- موللر.

قياس الإشعاعات بالاستناد إلى تشرد الغازات:

غرف التشرد: تتألف غرف التشرد من حجيرة مملوءة بأحد الغازات وحاوية قطبين يطبق عليهما فرق توتر يقرب 100- 200 فولت.

توضع المادة المشعة إما داخل الحجيرة أو خارجها وفي هذه الحالة الأخيرة يكون للحجيرة نافذة رقيقة الجدار جداً من الألمنيوم أو من أي مادة أخرى مناسبة تستطيع الدقائق اجتيازها بسهولة.

فعند تعرض الغاز الموجود داخل الحجيرة للإشعاعات فإنه يتشرد ويمرّ تيار كهربائي تتناسب شدته مع الإشعاع، يقاس هذا التيار عادة بعد تكبيرة بوسيلة مناسبة.



شكل رقم (7-23)

مخطط غرفة تشرد: E, E – الأقطاب

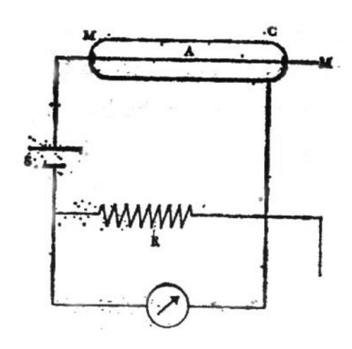
A-مقياس شدة التيار.S- منبع للتيار الكهربائي

عداد غيفر- موللر:

يتألف هذا العدّاد من قطبين المهبط منهما بشكل أنبوب معدني طوله 5 سم قطره2-3 سم والمصعد منهما يتمثل بخيط معدني (غالباً من التنغستين) معلق بقطر الأنبوب المهبطي وداخل الأنبوب غاز نقي (هيدروجين، أرغون أو نيون ...) تحت ضغط خفيف. يطبق على القطبين فرق توتر مستمر يصل إلى 1500- 2000 فولت.

عندما تصل إلى العدادات إشعاعات مشردة يتم حدوث أزواج من الشوارد ونظراً لتجاوز فرق التوتر المطبق لحد معين يبدأ تيار التفريغ بالتكوين وذلك بالاصطدامات المتكررة بين الشوارد مما يولِّد عدداً كبيراً من الإلكترونات يتم بوصولها إلى المصعد حدوث انفراغ كهرباوي يمكن قياسه بإدخال مقاومة مناسبة مابين المنبع الكهرباوي والعداد وتتم هذه الانفراغات على شكل نبضات Impulsions كهربائية يتراوح تواترها مابين 1- 100 فولت وهي تكبر وتقاس إما بتعدادها (إضاءة مصباح مثلاً وعدّ عدد إنارته في الدقيقة) وأما بتسجيل عددها بواسطة مسجل إلكتروني، وهو الأفضل.

إن العداد الجيد يسجل نبضة عندما تجتازه دقيقة من الدقائق ومع ذلك لابد له من زمن يتم فيه دورته لأن الشوارد الموجبة ولكونها ثقيلة جداً بالنسبة إلى الإلكترونات تستهلك زمناً قدره 4-10 ثانية حتى تصل إلى المهبط، وهذا الزمن لايبدي فيه العداد أي تفاعل ويبقى متوقفاً ولذلك يدعى هذا الزمن بزمن التوقف أو الموت أو بالأحرى الزمن الميت بالنسبة للعداد **Temps mort** وفيه لايستطيع العداد أن يجيب إذا تعرض لدقيقة جديدة، ولايسجل أي انفراغ ولهذا يحاول إنقاص هذا الزمن بقدر الإمكان بإضافة بعض الجزيئات العضوية كالغول.



شكل رقم (7-24)

مخطط عداد غيفر- موللر

S: منبع للتيار 1500- 2000 فولت. R: مقاومة

A: المصعد.

C : المهبط ويحوي غاز تحت ضغط 5- 20 سم زئبق

M, M: مواد عازلة

في حالة كون عدد النبضات التي يسجلها العداد أقل من مئة بالدقيقة فإن الأمر بغاية السهولة أما عندما تكون هذه النبضات أكثر من ذلك فلا بد من اللجوء إلى العدادات الألكترونية.

قياس الإشعاعات بالاستناد إلى حوادث الفلورة أو التألق:

يستند هذا القياس إلى أن اصطدام الدقائق المختلفة بلوحة من كبريت التوتياء يؤدي إلى حصول تألق أو فلورة يمكن قياس شدة إضاءتها بعد تكبيرها بمكثر مناسب Photomultiplicateur بخلية كهرضوئية. ثم تسجيلها.

إن مثل هذه الأجهزة مستعمل بكثرة في قياس الإشعاعات من نوع غاما وذلك لشدة قدرتها.

تطبيقات النشاط الإشعاعي التحليلية:

المعايرة بالتمديد النظائري :

تقوم هذه المعايرة على الفرضية القائلة إن العنصر المتكون من نظائر عدة يحتفظ بالشروط نفسها الفيزيائية والكيميائية على التركيب نفسه وذلك خلال التحولات الكيميائية الجارية عليه. فإذا احتوى محلول من المحاليل n غ من عنصر غير مشع x يراد معايرته (بشكل ملح معين مثلاً) فإننا نضيف إليه S غ من العنصر x نفسه على شكل الملح نفسه ولكنه موسوماً، بعد ذلك نستخلص جزءاً من هذا المركب بوسيلة مناسبة ونقيس نشاطه النوعي، ومن معرفة النشاط النوعي للمركب المعزول والنشاط النوعي للمركب الموسوم المضاف في بداية التفاعل يمكن استنباط عيار المحلول بسهولة.

إن الفعالية النوعية للمركب المعزول a تصبح معادلة لـ:

$$a = \frac{AxS}{S+n}$$

حيث A هي فعالية المركب الموسوم المضاف. إن قياس الفعالية النوعية يتم بعداد غيجر- موللر وذلك بمعرفة عدد الدقات المعادلة لغرام واحد من المادة بدقيقة واحدة.

ومن المعادلة السابقة نستنتج: $$n = S(\frac{A}{a} - 1)$$

طريقة التحليل بالتنشيط:

يمكن بفضل هذه الطريقة التخلص من صعوبة معايرة الأجسام الموجودة بشكل آثار زهيدة والتي يصعب حساب تراكيزها حتى بطرق التحليل الدقيق Microanalyse، وطرق التنشيط هذه تُعاير بنجاح ودقة كبيرين كميات تصل حتى 10-6 غ من العنصر.

يقوم مبدأ هذه الطريقة على تعريض المادة المراد تحليلها بشروط محددة لسيالة من الدقائق السريعة مثل النترونات فيحدث تحت تأثيرها تحويّل في بعض العناصر الموجودة في الوسط إلى عناصر مشعة، بعد ذلك يقاس نشاط هذه العناصر الإشعاعي وتتم المعايرة بالمقارنة مع شاهد في الشروط نفسها.

قد يمكن لهذه المعايرات أن تتم دون فصل للعنصر المشع المتكون عن غيره في الوسط وخاصة إذا كانت أدوارها مختلفة تماماً عن دوره، أما في الحالة المعاكسة فلابد من عملية الفصل.

الوقاية ضد الإشعاعات:

إن التعرض للإشعاعات خطورة أكيدة تحتم على العاملين بها اتخاذ كل الاحتياطات الضرورية لحماية أنفسهم من ضررها، وهذه الإشعاعات مهما كانت طبيعتها وحجومها وشحناتها فإن خواصها الضارة تقوم على صفاتها المشردة.

إن مصدر خطر الإشعاعات قد يكون خارجياً وذلك عند التعرض لمنبع مشع خارجي، وقد يكون داخلياً ناجماً عن التعرض لإشعاعات دواء أدخل إلى البدن الحي. ولذلك كان لابد قبل التكلم على سبل الوقاية من أن تحدد بصورة تقريبية المقادير التي يمكن احتمالها من هذه الإشعاعات، وهو مايستدعي التعرض لتعريف مختلف الوحدات الإشعاعية المستعملة في هذا المجال وتحديدها.

أكثر الوحدات استعمالاً في المجال الحيوي لتعيين مقادير الإشعاعات هي الرونتجن **Rontgen** ويرمز لها بـ **R** وتعبر عن كمية الإشعاعات **x** أو غما التي تولّد في **1.293** مع من الهواء (أي **1** سم3 من الهواء في الشروط النظامية) كمية من الشوارد تحمل وحدة كهربائية ساكنة. ولأن كل زوج من الشوارد يحمل شحنة قدرها **4.08 ×** **10-9** كولوناً فإن عدد الأزواج المتشكلة بتأثير رونتجن واحد يعادل إلى **2.08× 10-** **10** زوجاً بالسم3 من الهواء في الشروط النظامية.

إن كل رونتجن واحد يوافق امتصاص **5.24× 10 7 Me V** من قبل غرام واحد من الهواء ولقد اصطلح على عد المعادل الفيزيائي للرونتجن **Roentgen- equivalent- Physical** أو مايدعى اختصاراً الريب **REP** معادلاً كمية الإشعاع المادي الذي يترك لغرام واحد من النسيج القدرة نفس التي يتركها رونتجن واحد إلى غرام واحد من الهواء أي **5.24× 10 7 Me V.**

إن الرونتجن والريب يمكن تطبيقهما على النسج الرخوة ولايمكن تطبيقهما على العظام والنسج الشحمية ولهذا وضعت وحدة جديدة لاتتعلق بطبيعة المادة هي الراد RAD وتعادل كمية الإشعاع الذي يوافق إلى امتصاص قدرة تصل إلى 100 أرغه من قبل غرام واحد من المادة المعرضة للإشعاع.

لتطبيق الوحدات على الإنسان أوجدت وحدة الريم -Roentgen REM Equivalent Man وتعادل كمية الإشعاع مهما كانت طبيعته والتي إذا امتصها قبل جسم الإنسان أدت إلى نتيجة حيوية معادلة إلى امتصاص رونتجن واحد من الأشعة السينية أو أشعة غما.

إن المقدار الذي يمكن للإنسان احتماله دون أي ضرر من أشعة X أو أشعة غما يعادل 0.3 رونتجن أسبوعياً ومن الأشعة بتا يصل إلى 0.3 ريب أسبوعياً في حالة إشعاعات ألفا.

إن دخول هذه النظائر إلى البدن الحي عن الطريق الهضمي أو التنفسي أو الجلدي يحدث تسمماً مزمناً وتراكماً خاصاً عند الأشخاص المشتغلين بها وفي هذه الحالة إن وجودها الدائم في البدن يؤدي إلى تعرض دائم لضررها.

أما في حالة التعرض للإشعاعات من منبع خارجي فإن الفعل الضار يزول بمجرد الابتعاد عن المنبع (مكان العمل).

لابد إذن من أخذ الاحتياطات الشديدة الكفيلة بمنع كل تسرب لهذه المواد إلى الطريق الهضمي أو التنفسي أو الجلدي وذلك باستخدام كل ما يحقق ذلك من آلات ووسائل واقية وأمتعة مناسبة، كما يجب العمل بأمكنة جيدة ومجهزة بالوسائل الواقية لمنع تلوث الطاولات والصنابير والملابس. كما نشير إلى وجوب توجيه عناية طبية خاصة للعمال المشتغلين بمثل هذه الأمكنة وبفحصهم فحوصاً طبية دورية وإجبارية وتغذيتهم بموجب نظام غذائي معين غني بعنصر الكالسيوم.
ونشير أخيراً إلى أن الأثر المؤذي للعناصر الإشعاعية الداخلة إلى البدن الحي من الطريق التنفسي يتعلق بدور لعنصر المشع (كلما زاد دور العنصر كبراً زاد فعله الضار) وبمدة انطراحه وخروجه من البدن.

الفصل الثالث
الفيزياء الحيوية

الفيزياء كعموم هى العلم الذى يعنى بدراسة الخواص والصفات الطبيعية للأشياء غير الحية وتفسيرها واستنباط القوانين التى تحكم وجودها وحركتها وتفاعلاتها مع الأوساط المحيطة بها ومن أهم ما أظهره ذلك العلم هو الفارق بين المادة والطاقة وخواص وقوانين كل منهما.

أما الفيزياء الحيوية فقد استحدثت لدراسة نفس المجالات ولكن بالنسبة للكائنات الحية.

يمكننا القول بأن الفيزياء الحيوية هى الدراسة الفيزيائية للحياة على كل مستوياتها من الذرة حتى البيئة الكونية ككل

كما يمكن تعريف الفيزياء الحيوية على أنها أحد الاختصاصات (المتداخلة) التي تعمل على دراسة وتطبيق نظريات و مناهج الفيزياء على علم الأحياء.

كلمة متداخلة تعنى أنها ليست علما واحدا بل هى تداخل العديد من العلوم كالفيزياء والكيمياء والأحياء والرياضيات لتحقيق تلك الدراسة وتطبيقاتها.

قد لا يمكن تحديد جميع أفرع الفيزياء الحيوية بسهولة فهذا العلم يتدخل فى دراسة مجالات فى غاية التشتت تنمو يوما بعد يوم ويضاف اليها كل فترة فرع جديد فمثلا تبدأ تخصصات هذا العلم بدراسة الكائنات الحية على المستوى الدقيق جدا للجزيئ المكون للمادة الحية (فيزياء حيوية جزيئية) وتنتهى بدراسة البيئة ككل (ف حيوية بيئية)

الفيزياء الحيوية هى علم حديث نوعا ما قد لم يكن معروفا قبل 125 عاما من الان فقد استخدم المصطلح لأول مرة بواسطة كارل بييرسون سنة 1892 فى كتابه قواعد العلوم The Grammar of Science حينما اقترح أن تكون هناك دراسات علمية تربط الفيزياء بالبيولوجى.

فى عام 1943 بدأ Erwin Schrodinger مجموعة محاضرات له باسم (ماهى الحياة) جمعها بعد ذلك فى كتاب بنفس الاسم وأضاف له جملة (الجوانب الفيزيائية للخلية الحية) وقد تكون هذه أولى الخطوات الفعلية لبداية تلك النوعية من الدراسات.

فى سنة 1946 انشئ فى جامعة كينج بلندن وحدة تحت اسم وحدة الراسات البيوفيزيائية.

Biophysics Research Unit of King’s College.

من أهم من انضموا لتلك الوحدة كانت روزاليند فرانكلين مع موريس ويلكنس الذان استخدما أشعة اكس لدراسة الحامض النووى ووضعا تخيلا لشكله المعروف فيما بعد

لماذا تعتبر الفيزياء الحيوية مهمة؟

ساهمت اكتشافات الفيزياء الحيوية بشكل عظيم جدا فى تحسين حياة الانسان فى خلال العقود الأخيرة فمنذ اكتشاف تركيب وشكل الحامض النووى بدأت تتوالى المعلومات عن البروتين والجينات.

البروتين من أهم مكونات الحياة فهو ما يقوم بكل التفاعلات الكيميائية فى الجسد- عمل العضلات- وحركة الكائن الحى- ومكون أساسى فى اعضاء الحس كالعين والاذن والانف- نقل الاشرات العصبية من والى المخ وداخله-عمل عضلة القلب-تحول الطعام لطاقة والضوء لرؤية- مكون رئيسى فى جهاز المناعةوبناء ما يتلف من الانسجة والكثير الكثير.

الفيزياء الحيوية بينت لنا كل هذه المعلومات التى كانت مبهمة فى علم الطب من قبل فالان نحن لدينا معلومات دقيقة جدا عن أكثر من 50 ألف بروتين نستخدمها لمعرفة الامراض وأيضا فى علاجها مثل علاج الامراض الوراثية.

فى خلال العقد ونصف الماضى اكتشف البيوفيزيائيون التركيب الجينى الكامل للانسان ووضعوا خريطة له.

بعض التطبيقات التى نعيشها من انجازات الفيزياء الحيوية.

وصف لعملية نسخ الحامض النووى.

تصميم وزراعة اجهزة تنظيم ضربات القلب ومعالجات فشل عضلة القلب.

اكتشاف الخرائط الجينية وتصميم أجهزة المقارنة بين الجينات.

تحوير الكائنات الدقيقة لانتاج الوقود الحيوى.

الدورة البيولوجية للماء والضوء والحرارةوالكربون والنيتروجين على كوكب الأرض.

دراسة عمليات البناء الضوئى وتكوين الطاقة فى النباتات.

تطبيقات التصوير الطبى التى أنتجت ثورة فى عام التشخيص الدقيق لما لم يكن معلوما من قبل.

أفرع الفيزياء الحيوية :

يمكن تقسيم تخصصات الفيزياء الحيوية حسب حجم المادة أو المجال المدروس الى 3 أفرع رئيسية كالتالى:

- الفيزياء الحيوية الجزيئية و التحت خلوية

- الفيزياء الحيوية الفسيولوجية والتشريحية

- الفيزياء الحيوية البيئية

سنقوم باختصار بعرض بعض مجالات كل تخصص والتعرض لأحد المجالات بالشرح

الفيزياء الحيوية الجزيئية و التحت خلوية

تحت هذا الفرع يمكن دراسة الموضوعات التالية:

هيكل وتشكل الجزيئات البيولوجية

الفيزياء الحيوية للبروتين

العلاقات الوظيفية الهيكلية

خواص الإنتشار والنقل الجزيئي

بيوفيزياء الأغشية

بيوفيزياء الأحماض النووية

تدفق الطاقة والطاقة الحيوية

الديناميكا الحرارية

الميكانيكا الإحصائية

الآلات الجزيئية

الفيزياء الحيوية الفسيولوجية والتشريحية

تحت هذا الفرع يمكن دراسة الموضوعات التالية:

الميكانيكا الحيوية

الكهروفسيولوجى

بيوفيزياء الأعضاء الحسية

الفيزياء الحيوية البيئية

تحت هذا الفرع يمكن دراسة الموضوعات التالية:

بيوفيزياء الحرارة والتأثيرات الحرارية البيئية

بيوفيزياء الموارد البيئية

الفيزياء الحيوية الإشعاعية

الهندسة الحيوية البيئية

البروتينات واحدة من الجزيئات الضخمة الحيوية إلى جانب عديدات السكريدات والدهون والأحماض النووية، وهذه الجزيئات الضخمة الحيوية تشكل بمجموعها مكونات المادة الحية الأساسية.

الأحماض الأمينية المكونة للبروتين هى مواد تحتوي على مجموعة كربوكسيل -COOHحمضية ومجموعة أمين -NH2قاعدية لذا فإن لها تأثير متعادل - ترتبط تلك الأحماض مع بعضها بروابط كيميائية (الروابط الببتيدية) ثم تتشكل من هذا الشكل الأولي إلى أشكال ثانوية وثالثية ورابعية طبقا لروابط أخرى - هيدروجينية وأيونية - تحافظ على شكل البروتين إما كروي globularأو خيطي fibrous.

يتميز كل بروتين ببنية مختلفة عن البروتينات الأخرى، تدعى هذه البنية بالحالة الأصلية للبروتين وتتحدد حسب ترتيب الأحماض الأمينية في عملية الترابط التي تشكل السلاسل البروتينية.

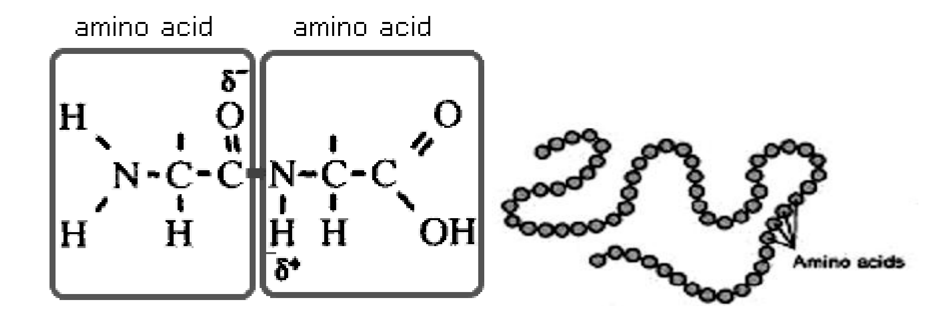
يمكن للبروتينات أن تربط بها جزيئات كيماوية متنوعة وشوارد معدنية ضمن تجويفات خاصة في بنيتها تدعى:مواقع الارتباط Bindingsites ومع ذلك تتميز البروتينات باصطفائية كيميائية عالية تجاه المركبات التي ترتبط بها. تدعى المركبات التي ترتبط بالبروتينات لجينات ligand،أما شدة الارتباط بين اللجين و البروتين فهي إحدى خصائص موقع الارتباط وتدعى الألفة affinity.

بما أن البروتينات تتدخل في كل عملية تتم ضمن الخلايا الحية، لذلك فإن التحكم في العمليات الحيوية يمكن أن يتم عن طريق التحكم بفعالية هذه البروتينات. هذا التنظيم لعمل البروتينات يمكن أن يتم عن طريق شكل البروتينات أو تركيزها :

تحوير تفارغي Allosteric modulation

تحوير تساهمي .Covalent modulation

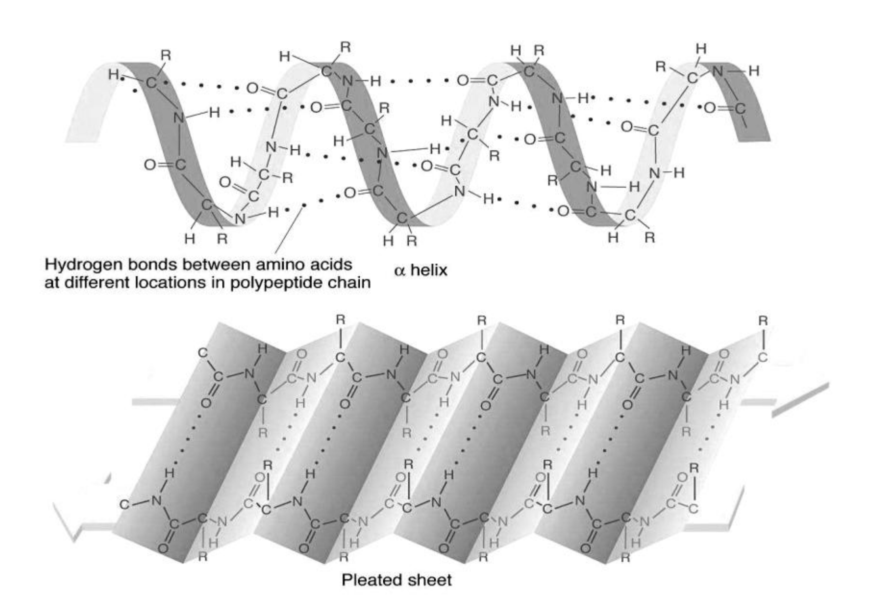
البنية الأولية: وفيها وصف لترتيب الأحماض الأمينية كمتتابعة متصلة فى الجزيئ فقط



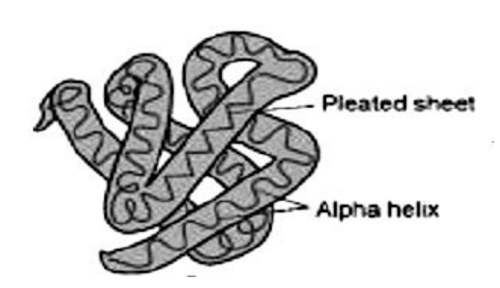
هنا تركيب الحمض الأمينى وفيه توجد سلسلة جانبية هى التى تختلف من حمض الى حمض لتعطى كل واحد من الاحماض صفاته المميزة.

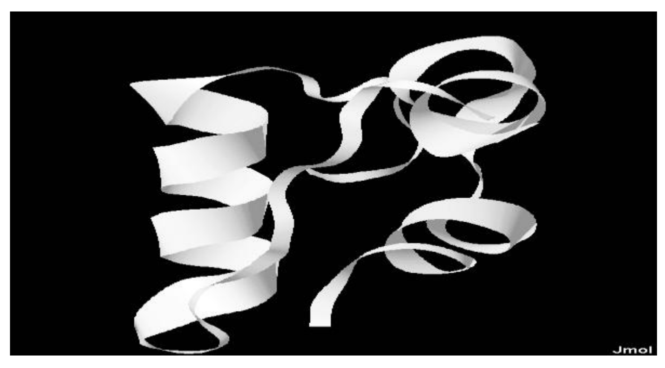
ترتبط الأحماض الامينية بعضها ببعض عن طريق رابطة ببتيدية وهكذا حتى يتكون الشكل الكامل لجزيئ البروتين على شكل سلسلة

البنية الثانوية: وفيها وصف للشكل ثلاثى الأبعاد لجزيئ البروتين بشكل مبسط لاحتمالية وجود الجزيئ أو بعض منه إما على شكل حلزونى (ألفا) أو شريط منثنى (بيتا) كما بالرسم



البنية الثالثية: وفيها وصف للحالة التى يكون عليها الجزيىء النهائي حينما ينثنى الشريط أو الحلزون حول نفسه مرات ومرات حتى يكون شكلا كرويا تقريبا ولكن لنفس السلسلة من الأحماض الأمينية فقط





البنية الرابعية: وفيها يتم وضع التصور لشكل الجزيئ فى حال تكونه من أكثر من سلسلة أحماض أمينية ملتفة كل حول نفسها ثم حول الأخرى



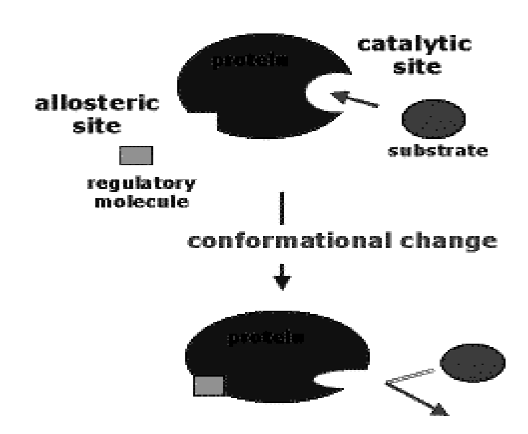
بعض الجزيئات البيولوجية قد تتواجد على صورة البنية الأولية والثانوية فقط مثال لذلك السكريات البسيطة والاحماض الامينية أما معظم الجزيئات البيولوجية ففتواجد فى صورة البنية الثالثية وأحيانا بعضها مثل البروتينات المعقدة على صورة البنية الرابعية .

مثلا نموذج لجزيئ بروتينالميوجلوبين يتواجد على الصورة الرابعية متكونا من عدة سلاسل متداخلة وكذلك جزيئ الانسولين

الدراسة البيوفيزيائية للجزيئات تضع هذه التصورات الدقيقة بناء على حسابات القوى المتواجدة بين المكونات والطاقة اللازمة لتكون وتماسك هذا الجزيئ الحيوى.

العلاقات الوظيفية الهيكلية:

يتم دراسة تأثير الشكل المستنتج للجزيئ على قيامه بوظائفه ودراسة التغيرات التى تطرأ عليه فى التفاعل مع جزيئات أخربفمعظم البروتينات من الممكن أن تتواجد فى صورة نشطة مختلفة عن صورتها غير النشطة وذلك عن طريق وجود عناصر محفزة للتحول بين الوضعين.



البنية الأولية والثانوية والثالثية عادةً ماتتعلق بالبروتينات ذات التراكيب المطوية.

أما بالنسبة للبنية الرابعية فهي عادةً ماتتعلق بالبروتينات أو الدهون ذات التجمع الذاتي **self-assembly.**

البنية البروتينية غير ثابتة إطلاقا بل تتغير لتأدية وظائفها المختلفة ولتحقيق هذا التغيير البنيوي يحدث تغير في ارتباطات البنية الثالثية والرابعية، لذلك تسمى البنية الثالثية والرابعية بالتشكيلات الكيميائية وما يحدث لها من تغيرات بالتغيرات التشكيلية **conformational changes**

وهى أحد جوانب الدراسات البيوفيزيائية الهامة التى توضح هوية البروتين أثناء قيامه بوظائفه الطبيعية وأيضا فى الحالات الغير طبيعية كالأمراض مثلا.

الماكينات الحيوية الجزيئية

تعتبر الخلية الحية بمثابة مصنع حيوى متكامل للغاية بتنسيق معمارى متعدد الوحدات لديه مركز تحكّم يخبره ماذا يعمل ،و مولّد لتوليد الطّاقة والآلات لعمل المنتجات.

لدى جسم الإنسان أكثر من 10 تريليون من الخلايا ذات الأشكال المختلفة وتصنّف الخلايا البكتيريّة بين الأصغر، بينما الأكبرهي بيضة الطائر .

(يمكن أن تكون خلايا العصب الحركيّ طويلة جدًّا -اكثر من 1م)

يمكن اطلاق لفظ الماكينة الحيوية الجزيئية على أى من الوحدات الموجودة داخل الخلية التى يمكنها أن تقوم بحركة شبه ميكانيكية عند تعرضها لمؤثر معين موجه لها. هذه الماكينات تجمع عددا كبيرا من البروتينات والاحماض النووية ولها وظائف محددة للغاية وتتراوح احجامها من 10 الى 150 نانومتر وفيها تتوفر البيئة المحددة لحدوث تفاعل كيميائى معين بدقة شديدة لانتاج منتج نهائى أو تحويل الطاقة الكيميائية الى طاقة ميكانيكية لازمة لوظائف الخلية.

تعمل هذه الماكينات بشكل دورى وقادرة على اعادة ضبط نفسها تلقائيا.

تركيب الخلية

تختلف الخلايا من حيث شكلها وبنيانها تبعاً لأماكن تواجدها فى الجسم ووظائفها الحيوية وتشكل بأشكال مختلفة ، البعض له شكل ثابت ، مثل الخلايا المنوية والخلايا البويضية والخلية العصبية . والبعض الآخر أشكاله مختلفة مثل خلايا الدم وتختلف الخلايا فى الحجم حيث يتراوح حجم الخلايا فى الإنسان ما بين 200 و 1500 ميكرون.

تتميز الكتلة البروتوبلازمية للخلية إلى جزئين رئيسين ، جزء فى النواة يسمى النيوكليوبلازمNucleoplasm،والآخر يحيط بالنواة ويسمى السيتوبلازم Cytoplasm،وتحاط النواة بغشاء رقيق ، هو الغشاء النووى Nuclear membrane تحاط الخلية بأكملها بغشاء آخر يسمى غشاء الخلية Plasmalemma or cell membrane .



ويحتوى السيتوبلازم على عدة تراكيب حية تسمى العضيات السيتوبلازمية Cytoplasmic organellesكما يحتوى على عدة مواد غير حية تسمى الميتابلازم أو الديوتوبلازم Metaplasm or deutoplasmومن العضيات الحية الميتوكوندريا وجهاز جولجى والبلاستيدات فى الخلايا النباتية .

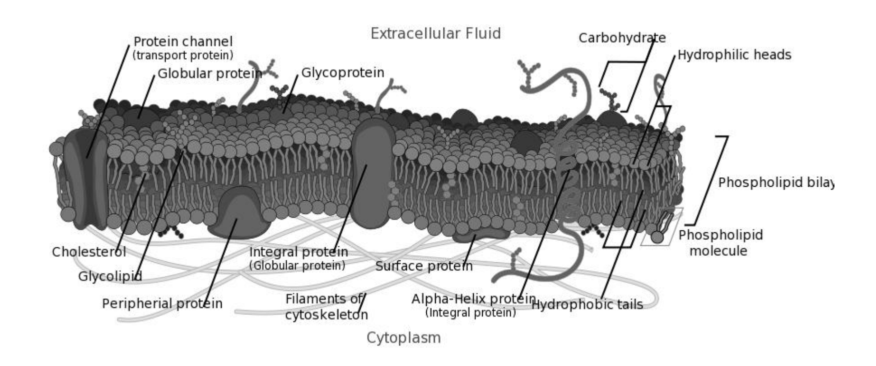
أما الميتابلازم فيتضمن الجليكوجين والنشا والحبيبات الدهنية والقطرات الزيتية وبعض المواد الآخرى كالصبغيات والمواد الإفرازية والنواتج الإخراجية وغيرها .

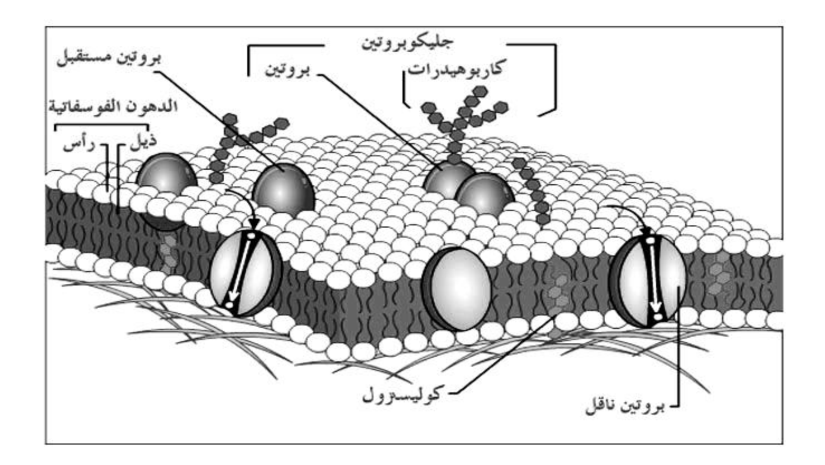
غشــاء الخليــة Cell Membrane

كل خلية محاطة بغشاء رقيق جداً (سمكه حوالى 100 انجستروم) يتركب من بعض الدهون والبروتينات وتبعا لذلك فإنه كلما كانت المواد أكثر قابلية للذوبان فى الدهون كلما كان معدل انتشارها أسرع خلال الأغشية الخلوية.

يقوم غشاء الخلية بدور أساسى فى تنظيم مرور المواد الذائبة بين الخلية والوسط المحيط بها ، ويطلق على هذه الخاصية بصفة عامة النفاذية Permeabilityوهى الوسيلة التى تعمل على تنظيم دخول مواد معينة ذات أهمية أساسية فى بناء المادة الحية للخلية .

كذلك يقوم غشاء الخلية بتنظيم خروج النواتج التالفة والمواد الإفرازية، وكذلك الماء الزائد عن حاجة الخلية.





تعتمد نفاذية الخلية على الحالة الفسيولوجية للخلية ، ودرجة تركيز الأملاح فى الوسط المحيط بالخلية ، ودرجة الحرارة وتلعب نفاذية غشاء الخلية دوراً هاماً فى التحكم فى خروج نواتج أنشطة التمثيل الغذائى المختلفة من الخلية .

ويتأثر غشاء الخلية بصورة واضحة بعوامل معينة تتسبب فى تحلله وتفككه ، مثل الأجسام المضادة والمعادن الثقيلة والأشعة السينية ومذيبات الدهون .

ويتكون الغشاء الخلوي من:

أولا :الدهون ولها أربعة أنواع :

الدهون الفوسفاتية .Phospholipids

الكولسترول .Hydrophobic

الدهون السكرية .Glycolipids

الدهون البروتينية .Lipoproteins

ثانيا :البروتينات ولها أربعة أنواع:

بروتينات حاملة (.Carrier proteins)

بروتينات مستقبلة (.Receptor proteins)

بروتينات تعريف الخلية (.Cell recognition)

بروتينات أنزيمية (.Enzymatic proteins)

التركيب الجزيئي Molecular Organization

توجد الدهون على هيئة صف مزدوج من الجزيئات محصورة بين طبقتين من جزيئات البروتين إحداهما للخارج والأخرى للداخل منها.

يوجد ثقوب دقيقة في غشاء الخلية بعض هذه الثقوب يحمل شحنات كهربائية موجبة والبعض الأخر يحمل شحنة سالبة، مما يجعلها تلعب دورًا هاما في ضبط وتنظيم مرور شوارد المواد الذائبة المختلفة إلى الداخل وإلى الخارج من الخلايا.

تلعب البروتينات المكونة للغشاء أدوارًا مهمة، فبعضها يعمل عمل الأنزيمات والنواقل كما أن لبعضها دورًا في استقبال المعلومات الكيميائية مثل الهرمونات.

يعود الاختلاف بين خلية وأخرى إلى التنوع في أنواع الكاربوهيدرات المرتبطة بجزيئات بروتينات غشاء الخلية مثل فصائل الدم A,B,AB,O.

هناك نوعان من الشبكة الإندوبلازمية : ـ

الشبكة الإندوبلازمية الخشنة أو المحببة Granular rough endoplasmic reticulumيتميز هذا النوع بوجود عدد كبير من الحبيبات الدقيقة على سطح الخارجى للشبكة هذه الحبيبات غنية بحامض الريبونيوكليك والبروتينات والريبوسومات ribosomesوتمثل الريبيوسومات مواقع تخليق البروتنيات فى الخلية ، ولذا فهى تتوفر بكثرة فى الخلايا التى تتميز بنشاطها فى بناء البروتينات كالكبد والبنكرياس

الشبكة الإندوبلازمية الملساء أو غير المحببة Agranular or Smooth endoplasmic reticulum ويتميز هذا النوع بخلوه من الريبوسومات، ويقتصر وجوده على أنواع قليلة من الخلايا مثل الخلايا الصبغية الطلائية لشبكية العين والخلايا العضلية الإرادية ، ويبدو أن الشبكة تقوم بدور حسى فى مثل هذه الخلايا .

تتكون أغشية الشبكة الإندوبلامية من مواد دهينة وبروتينية متحدة مع بعضها البعض فيما يسمى بالمركبات الليبوبروتينية وتلعب الشبكة الإندوبلامية ، وبخاصة النوع الحبيبى ، دوراً فى عملية تخليق البروتينات وتكوين الإفرازات فى الخلية ، وهناك وظيفة آخرى محتملة للشبكة الإندوبلازمية ، وهى أن تجاويفها قد تعمل كممرات يتخللها نقل مختلف المواد بين الأجزاء السيتوبلازمية المختلفة ، ومن النواة إلى خارجها.

الريبوسومـات Ribosomes

الريبوسومات عبارة عن حبيبات صغيرة كروية الشكل توجد أما على أغشية الشبكة الإندوبلازمية أو معلقة حرة فى السيتوبلازم وتتركب من حوالى 60% Ribosomal RNAو40% بروتين والريبوسومات ترتبط بنوع معين من الـ RNA وهو(MRNA الرسول (Messanger RNA والناقل TRNA (Transfer RNAيتكون فى نواة الخلية كنتيجة للشفرة الوراثية Gentic Code

حيث يقوم بنقل المعلومات اللازمة لتخليق البروتين حيث ينقل MRNAالمعلومات الوراثية اللازمة لبناء نوعين من البروتينات هما البروتين الوظيفى والبروتين التركيبى وفى السيتوبلازم يوجد العديد من الريبوسومات التى ترتبط بنسبة من MRNA وتكون تركيب يسمى Ploysome / Polyribosome ويقوم MRNAوالريبوسوم المتصل به بتخليق البروتين.

لو كان هذه البروتين مخططا له أن يكون داخل فى تركيب الليزوسومات أو جدار الخلية أو هرمونات أو إنزيمات هاضمة فى هذه الحالة تتصل ال Protein Complex- Ribosome MRNA بالشبكة الإندوبلازمية الخشنة RERوينتقل البروتين بعد ذلك إلى خارج الخلية

إما إذا كان هذا البروتين للإستخدام داخل الخلايا مثل البروتينات الخاصة **Cytoskeleton or cytoplasmic enzymes** فيبقالـ **Polysome** حرا فى هذه الحالة فى السيتوبلازم .

الميتوكوندريا Mitochondria

الميتوكوندريا عضيات خلوية حيه توجد فى جميع أنواع الكائنات على هيئة حبيبات دقيقة أو عصى قصيرة أو خيوط ويتـرواح طولهـا ما بين نصف الى 1 ميكـرون ويصل طول الأنواع الخيطية منها إلى 10-12 ميكرون وقد توجد فى الخلية نوع أو أكثر من هذه الأشكال .

وعدد الميتوكوندريا ثابت بالنسبة للنوع الواحد من الخلايا فمثلا يوجد 500000 ميتوكوندريون فى الأميبا وتكثر الميتوكندريا بصفة عامة فى الخلايا الأكثر تخصصا مثل خلايا الكبد وخلايا الكلية وتوجد الميتوكندريا فى معظم الحالات موزعة توزيعاً منتظماً متجانساً فى السيتوبلازمة .

تظهر الميتوكندريا فى صور الميكروسكوب الإلكترونى على هيئة أكياس يحيط بكل منها غشاءان رقيقان الخارجى منها مستوى أما الداخلى فمتعرج .

وتتكون الميتوكندريا أساسا من الدهون والبروتينات بالإضافة إلى بعض المواد العضوية الأخرى والأملاح والفيتامينات كما تعتبر الميتوكندريا المستودع الرئيسى للأنزيمات التنفسية فى الخلية وتسمى الميتوكندريا أحياناً بالبطاريات الإنزيمية " ويطلق على الميتوكندريا أيضا أسم " مولدات الطاقة " فى الخلايا وذلك لأن الكثير من التفاعلات الكيميائية التى تتضمن أكسدة المواد الغذائية واستخلاص الطاقة منها تتم داخل الميتوكندريا بتأثير الإنزيمات الموجودة بها .

التقنيات البيوفيزيائية:

هناك العديد من التقنيات التى تستخدمها البيوفيزياء لاجراء الابحاث وتطبيقها فى المجالات المختلفة نذكر منها هنا:

الطرد المركزى:

وهو يستخدم فى فصل المركبات الذائبة والعالقة فى السوائل عن طريق الدوران بسرعات كبيرة حول محور الجهاز.

وهذه الطريقة تعتمد على تطبيق قوة على العينة تشبه قوة الجاذبية ولكن اكبر منها بكثير جدا (قد تصل فى بعض الأجهزة مليون مرة قدر الجاذبية الارضية) فى شكل دورانى لاستغلال ظاهرة الترسيب التى تحدث فى الموائع تحت تأثير الجاذبية.



يعتمد معدل الترسيب على:

القوة المؤثرة – كثافة الوسط - حجم وتركيز المادة المذابة أو العالقة.

حينما نطبق القوة الناتجة عن الطرد المركزى بقيم مختلفة فيمكننا فصل مكونات كل منها يترسب عند سرعات (مقدار قوى) مختلفة.

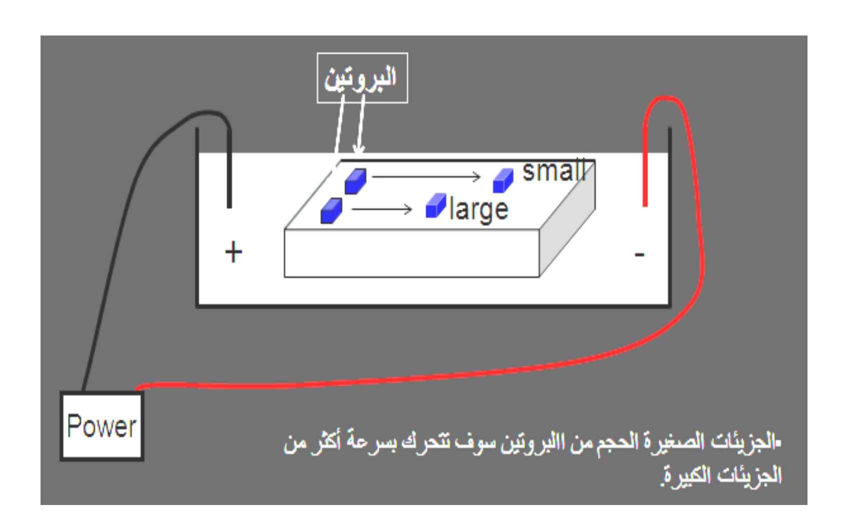
يمكن استخدام الطرد المركزى فى فصل عينات الحمض النووى

بمعرفة معدل الترسيب يمكن استخدام المعادلات الفيزيائية فى حساب الحجم والشكل التقريبى للجزيئات المفصولة وحتى عدد الوحدات المكونة لكل جزيئ .

الفصل الكهربائي بواسطة جل اكريلاميدElectrophoresis

من أهم طرق التحليل الشائعه - يعتمد على فصل جزيئات البروتينات والأحماض النووية تبعاً للحجم (أو طول شريط الحمض).

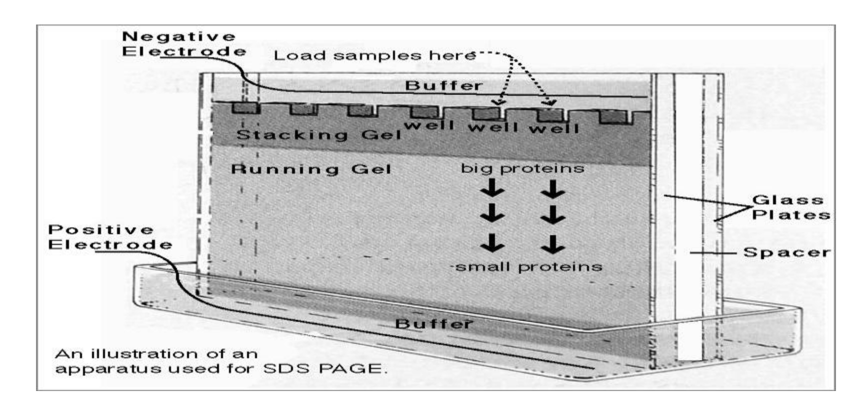
فيها يستخدم مصدر تيار كهربي ذو قطبين سالب وموجب للتأثير على جزيئات المركبات بعد وضعها فى وسط من الجل المرطب بمحلول فتتحرك داخل مسام الجل تبعا لشحنتها بينما تتفاوت المسافة التى تقطعها حسب حجم الجزئ فالأصغر يتحرك أسرع والأكبر يتحرك أبطأ بسبب مقاومة الوسط الذى يتحرك فيه (هنا هو الجل) وبالتالى تنفصل الجزيئات عن بعضها على الجل وتظهر بعد عملية تثبيت تشبه تحميض الأفلام باستخدام تقنيةخاصة لصبغ البروتين فتظهرعلى شكل أشرطه bands



ثم تفصل بعدها بواسطة الغربلة الجزيئية molecular sieving تبعاً للحجم (الوزن الجزيئي).

ويمكن معرفة حجم البروتين بمقارنة المسافة التي يقطعها الجزيء على جل الفصل مع أشرطة من الجزيئات البروتينية معلومة الوزن الجزيئي.

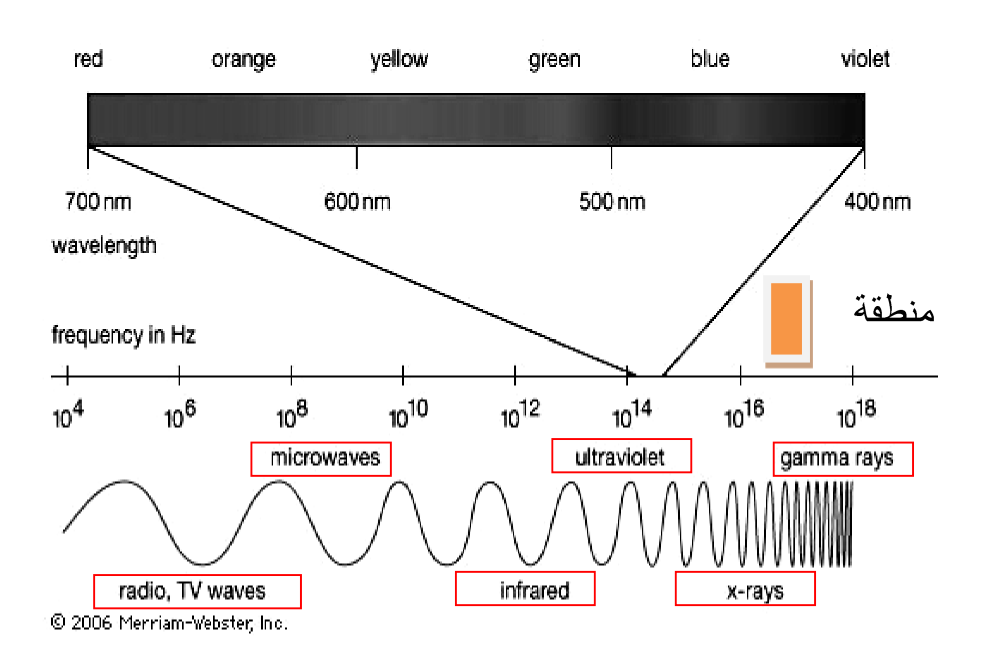
البروتين يحمل شحنة موجبه لوجود مجموعه أمين NH3 ،عندما نضع البروتين في مجال كهربائي. فإنه سوف يهاجر أو(يرحل) للقطب السالب ولكن يمكن أن نستخدم مادة سالبة الشحنة(sodium dodecyl sulfate (SDS) لترتبط بمجموعة الامين فتتغطى جزيئات البروتين بشحنة سالبة مما يتسبب فى فك تكور الجزئ حول نفسه ثم تهاجر تجاه القطب (الموجب) بشكل أسهل داخل الجل وهى مفرودة وهذه الطريقة متميزة أكثر وهى الأكثر شيوعا فى التطبيق العملى.



An illustration of an apparatus used for SDS PAGE.

الأطياف:

علم يهتم بدراسة التداخلinteraction بين المادة matter والشعاع الكهرومغناطيسي electromagnetic radiation والذي يمتد من أشعة جاما عالية الطاقةhighly energetic إلى موجات الراديوالمنخفضة الطاقة جدا very low energetic مرورا بالأشعة السينية وأشعة المايكروويف والأشعة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء.



أما القياسات المطيافية Spectrometry فإنها تعني: قياس هذه التداخلات بين المادة والشعاع وصفياعن طريق التعرف على التراكيب الكيميائية لهذه الموادأوكمياعن طريق قياس تراكيزهذه المواد.

وأما الأجهزة التي تقوم بهذه القياسات تدعى بالمطيافيات أو أجهزة مقياس الطيف Spectrometers أو راسم طيفي . Spectrograph ويشار إلى مخطط التداخل بين المادة والشعاع بمخطط طيفي spectrogram أو طيف spectrum

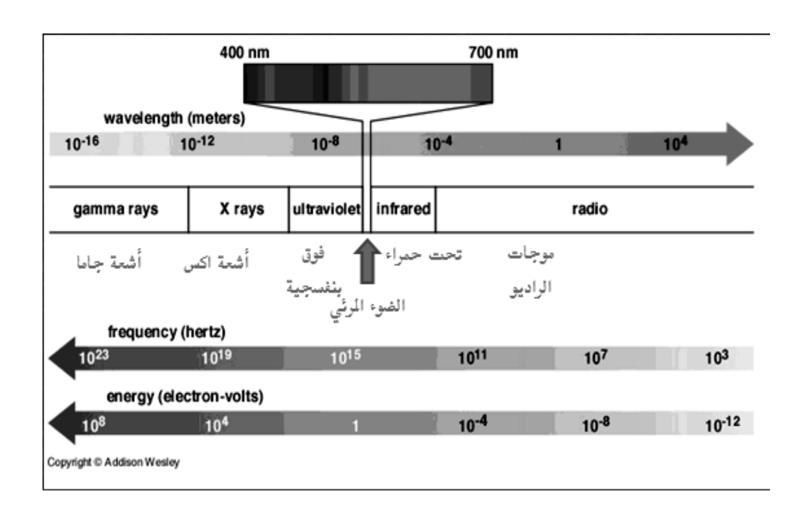
تسخدم المطيافيات للتمييز والتعرف على المواد عن طريق التعرف على التراكيب الكيميائية لها وقياس كمياتها من خلال الطيف المنبعث من هذه المواد بعد إثارتها ، أو من خلال الطيف الممتص بواسطة هذه المواد نتيجة إثارتها أيضا.

الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum

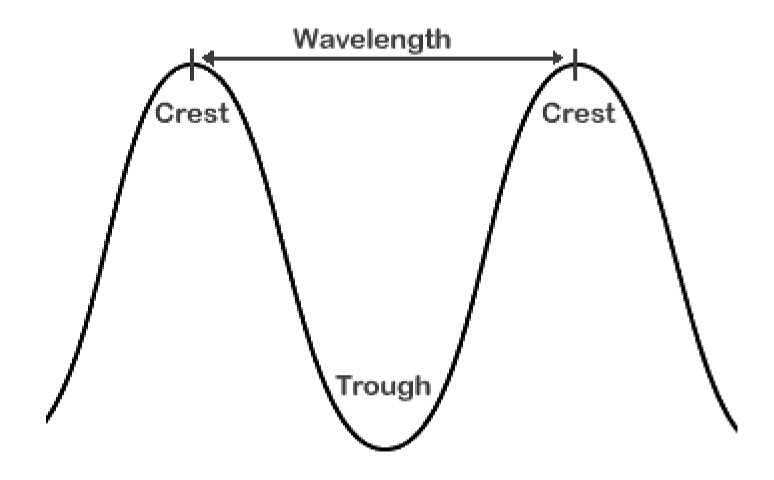
الطيف الكهرومغناطيسي ، أو الأشعة الكهرومغناطيسية ، أو الأمواج الكهرومغناطيسية كلها تحمل نفس المعنى الفيزيائي. وإذا تكلمنا عن الضوء المرئي، أو المايكروويف، أو الأشعة السينية، أو أشعة جاما، أو موجات التلفزيون والراديو فهي كلها عبارة عن أشعة تعرف باسم الأشعة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Radiation

وكلها لها نفس الخصائص. ولكنها تختلف في الطول الموجي Wavelength ،و التردد Frequency ،والطاقة . Energy

المناطق المختلفة للإشعاعات الكهرومغناطيسية:



ويتقدم الشعاع الكهرومغناطيسي في صورة حركة موجية wave motion أي حركة تدفع الشعاع نحو الأعلى upward direction ثم تدفعه نحو الأسفل downward direction مثل الموجة التي لها قمة crest وقاع trough



التداخل بين الشعاع الكهرومغناطيسي والمادة:

عند تسليط طيف أو شعاع كهرومغناطيسي على المادة ، فان هذا الشعاع يحدث تغيرات عديدة بالمادة تتوقف على كل من طاقة هذا الشعاع الضوئي ، وطبيعة المادة نفسها.

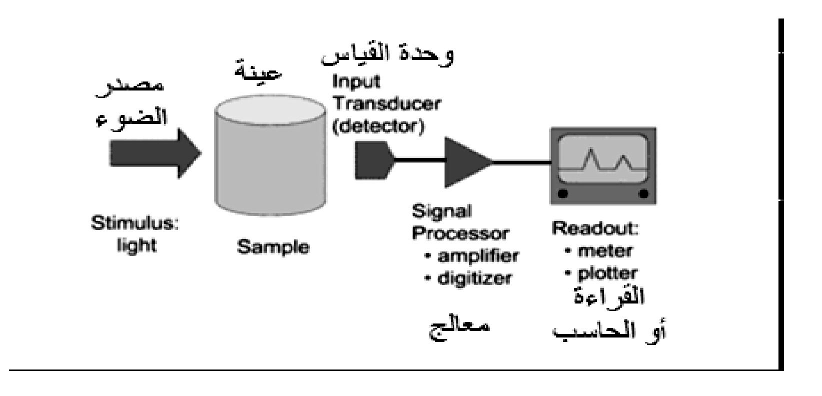
وتعتمد كل أجهزة التحليل الطيفي spectroscopic instruments على التداخل بين المادة والشعاع الكهرومغناطيسي ، وعلى هذا الأساس تم تصميم العديد من الأجهزة التي يمكن استخدامها في الكشف عن تلك المواد على أساس التغيرات التي تحدث بها نتيجة تداخلها مع الشعاع الكهرومغناطيس عند أطوال موجية معينة ، ثم يتم رصد هذه التغيرات التي تحدث بالمادة

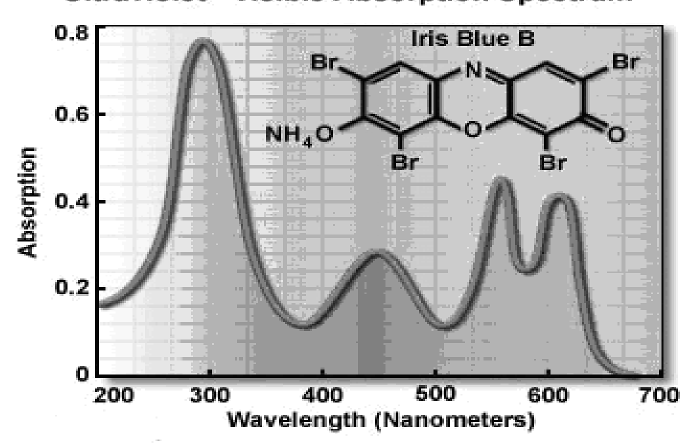
عند مرور الأشعة الكهرومغناطيسية على المادة ، فإن جزيئات المادة تمتص الشعاع الساقط عليها عندما تضاهي طاقة فوتونات هذا الشعاع كمية الطاقة المطلوبة لحدوث انتقالات بين مستويات الطاقة داخل الجزيء المختلفة ويحدث اما انتقالات أليكترونية Electronic transition ، أو تغيرات تذبذبية Vibrational changes ،أو تغيرات دورانية Rotational changes ،أو اثنين منها معا، أو جميعها معا. وتعود الجزيئات والذرات المثارة الى حالة الاستقرار بسرعة جدا ، اما عن طريق فقد الطاقة في صورة حرارة ، أو عن طريق انبعاث اشعاع كهرومغناطيسي منها.

ينتج عن امتصاص الجزيئات للأشعة الكهرومغناطيسية في منطقتي الضوء المرئى والفوق بنفسجى انتقال واحد أو أكثر من الأليكترونات الموجودة في مدارات ذات طاقة منخفضة (مدارات الرابطة) الى مدارات ذات طاقة أعلى.كثافة الامتصاص تتناسب طرديا مع عدد الجزيئات في مسار الأشعة،

لذلك يستخدم هذا التحليل في مجالات عديدة من التحليل الكمي .

مخطط لتركيب جهاز المطياف





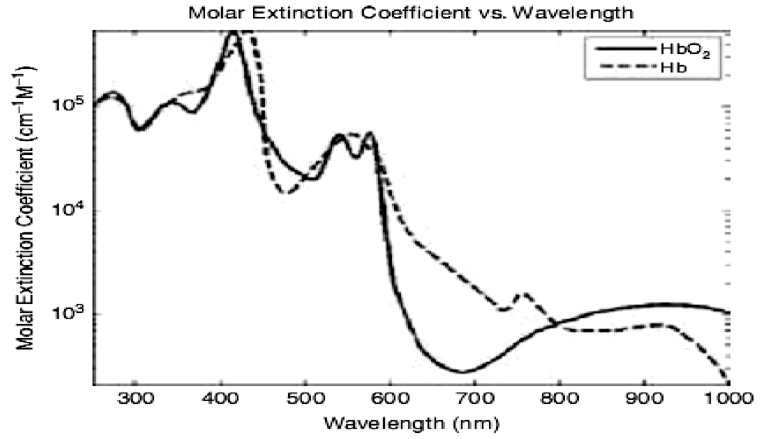


FIGURE 3-1 • Absorption spectra of hemoglobin with oxygen bound to the hemoglobin (solid line) and without oxygen bound to the hemoglobin (dashed line). (*Courtesy of Wikimedia Commons.*)

أشكال الأطياف الناتجة بعد رسمها من البيانات

الرنين النووي المغناطيس(Nuclear Magnetic Resonance (NMR

تعتمد على الخواص المغناطيسية الميكانيكية الكمية لنواة الذرة. ويستخدم الرنين النووي المغناطيسي للدلالة على مجموعة منهجيات وتقنيات علمية. وتستخدم هذه الظاهرة لدراسة الجزيئات من حيث البنية والتشكيل الفراغي.

جميع الأنوية الذرية التي تملك عددا فرديا من البروتوناتأو النيوترونات يكون لها عزم مغناطيسي أصلي intrinsic وعزم زاوي angular momentum ،وأكثر الأنوية التي تستخدم في هذه التقنيات هي نواة ذرة الهيدروجين H1 وهي أكثر نظائر الهدروجين توافرا في الطبيعة ، وكذلك نواة ذرة الكربون-13. وهناك نظائر عناصر أخرى يمكن أن تستخدم لكن استخداماتها تبقى أقل.

وينتج عن الدوران المغزليspining motion لأنوية هذه العناصر حول محورها عزم مغناطيسي (magnetic moment (M،وعند وضع هذه الأنوية بين قطبي مجال مغناطيسى خارجى ، فإنه يحدث تأثير على مستويات الطاقة الخاصة بالحركة المغزلية spin energy level لهذه الأنوية ، مما يؤدي الى إنفصال splitting طاقة الحركة المغزلية إلى مستويين طاقيين مختلفين على أساس اتجاه العزم المغناطيسي الناشئ عن الحركة المغزلية وهما:-

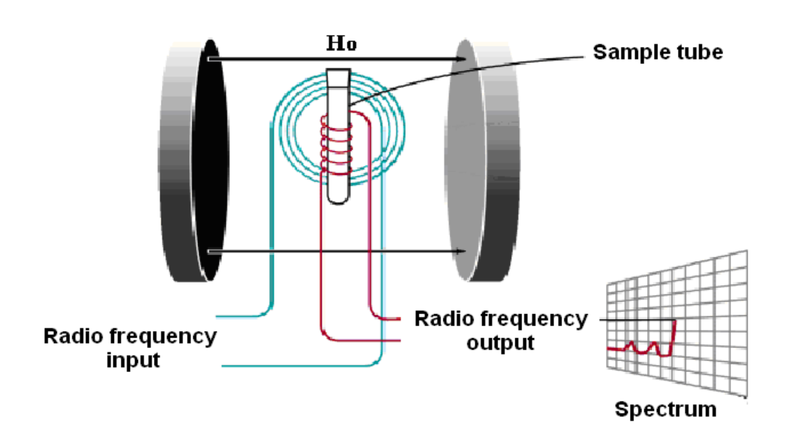
مستوى طاقي منخفض Low energy level وهنا يكون العزم المغناطيسى فى إتجاه المجال المغناطيسى الخارجي.

مستوى طاقي مرتفع High energy level وهنا يكون العزم المغناطيسى فى إتجاه مضاد للمجال المغناطيسى الخارجى.

ويمكن زيادة الفرق فى الطاقة بين هذين المستويين بزيادة شدة المجال المغناطيسى الخارجى.

عند تسليط أشعة الراديو Radiowave ،علي هذه الأنوية فإنها تمتص طاقة أشعة الراديو وتنتقل إلى مستوى الطاقة الأعلى ، وينتج عن ذلك تغير فى إتجاه الحركة المغزلية للنواة ، ثم ترجع الأنوية من المستوى العالي في الطاقة الى المستوى المنخفض مرة أخرى وهكذا ، ويطلق على هذه الظاهرة ظاهرة الرنين النووي المغناطيسي. وإمتصاص الطاقة يمكن الكشف عنه وتكبيره كطيف خطى ويطلق عليه إشارة الرنين المغناطيسي resonance signal.

مطياف الرنين النووي المغناطيسي



رسم تخطيطي لمطياف الرنين النووي المغناطيسي

التعرف على التركيب الجزيئي

أهم المعلومات التى نحصل عليها من طيف الرنين المغناطيسيNMR spectrumما يلى:-

1- الأنتقال الكيميائى للإمتصاصات chemical shift (δ)

الانتقال الكيميائي يحدد نوع البروتونات فى الجزىء حيث أن عدد الإمتصاصات يدل على أنواع البروتونات (الهيدروجين) الموجودة فى الجزىء.

فنجد مثلاً أن مركب C6H5-CH2-CH3يعطى ثلاثة إمتصاصات عند ثلاثة قيم مما يوضح أن هناك ثلاثة أنواع من البروتونات تختلف عن بعضها من ناحية الظروف الأليكترونية ،

بينما نجد مركب CH3-OH يعطى إمتصاصين فقط عند قيمتين مختلفتين من الانتقال الكيميائى ليدل بذلك على وجود نوعين من البروتونات.

والطريقة النموذجية للتعرف على التركيب الجزيئى للمركب هى البدء بالرمز الجزيئى molecular formulaوذلك لتحديد درجة عدم التشبع unsaturation أو عدد الحلقات العطرية ويفيد فحص الانتقال الكيميائى chemical shiftفى التفرقة بين عدم التشبع والحلقات العطرية ، فإذا كانت هناك إمتصاصات فى المنطقة ما بين 7 : 8.5 d فهذا يدل على وجود حلقة عطرية أما إذا ظهر إمتصاص فى المنطقة 4.5 : 6 δفيمكن إفتراض وجود رابطة زوجية.

2-عدد الانقسامات الداخلية فى كل إمتصاص رئيسى Spin Spin Coupling

إن فحص عدد الانقسامات فى كل إمتصاص رئيسى يفيد فى تحديد الوضع النسبى لهذه البروتونات ، فالانقسام الثلاثى يشير إلى وجود مجموعة CH2 مجاورة أو مجموعة CH على كل جانب .

أما الانقسام الرباعى يشير إلى وجود مجموعة CH_3 مجاورة أو مجموعتين إحداهما CH_2 على جانب ، CH على الجانب الأخر ، أما الأنقسام الثنائى يشير إلى وجود مجموعة CH مجاورة وهكذا.

وإذا كان الجزىء يحتوى على ذرة أكسجين أو نتروجين فإنه يجب أن نبحث عن إمتصاص فردى عريض للبروتون لمجموعة OH أو NH وفى حالة عدم وجود هذا الإمتصاص فإن هناك إحتمالا لأن تكون المادة مركب كربونيلى C=O أو R-O-R

3- كثافة الإمتصاصات integration

يوضح نسبة ذرات الهيدروجين إلى بعضها فى الجزىء وكذلك عدد البروتونات فى كل مجموعة امتصاص حيث أن كثافة كل امتصاص يتناسب طردياً مع عدد ذرات الهيدروجين.

الفهرس

قائمة المحتويات